

DECKBLATT

| Projekt | PSP-Element | Obj. Kenn. | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | |
|---------|-------------|------------|---------|-----|----------|------|---------|
| | | | | | | | N A A N |
| EU 463 | 9K | 35212731 | - | EGC | RB | 0011 | 00 |

Titel der Unterlage:

Einfluß des Schachtverschlusses, Rechenfall R 49

Seite:

I.

Stand:

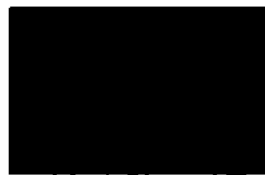
03.02.92

Ersteller:**Textnummer:****Stempelfeld:**

PSP-Element TP...../..:

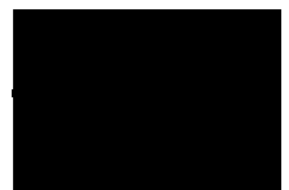
zu Plan-Kapitel: 3.9

PL



Freigabe für Behörden

PL



Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.

Revisionsblatt

BfS

| | | | | | | | |
|--------|---------|---------------------|-------------|-----------|-----|----------|------|
| EU 463 | Projekt | PSP-Element | Obj. Kenn. | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. |
| | N A A N | N N N N N N N N N N | N N N N N N | X A A X X | A A | N N N N | N N |
| | 9K | 35212731 | - | EGC | RB | 0011 | 00 |

Titel der Unterlage:

Einfluß des Schachtverschlusses, Rechenfall R 49

Seite:

II.

Stand:

03.02.92

| Rev. | Revisionsst. Datum | verant. Stelle | Gegenzeichn. Name | rev. Seite | Kat. *) | Erläuterung der Revision |
|------|--------------------|----------------|-------------------|------------|---------|--------------------------|
| | | | | | | |

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ - BFS
SALZGITTER

SCHACHTANLAGE KONRAD, SALZGITTER
DURCHFÜHRUNG VON PARAMETERVARIATIONEN
Teilaufgabe 9K 352127.31

EINFLUSS DES SCHACHTVERSCHLUSSES
RECHENFALL R49

3029/6

Februar 1992



Baden/Schweiz

Der Bericht wurde im Auftrag des BUNDESAMTES FÜR STRAHLENSCHUTZ -
(BFS) erstellt. Das BFS behält sich alle Rechte vor. Insbesondere
darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des BFS zitiert, ganz oder
teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|--------|---|----|
| A | HYDROGEOLOGISCHE MODELLIERUNG | 1 |
| 1 | EINLEITUNG, MODELLIERUNG | 1 |
| 1.1 | Einleitung | 1 |
| 1.2 | Modellierung | 1 |
| 1.2.1 | Bohrungen | 1 |
| 1.2.2 | Schachtverschluss | 2 |
| 1.2.3 | Verminderung des Durchlässigkeitskontrastes zwischen Unterkreide und Alb | 2 |
| 2 | PARAMETER | 4 |
| 2.1 | Schichteinheiten, Störungszonen, Strecken | 4 |
| 2.2 | Bohrungen | 4 |
| 2.3 | Schächte | 4 |
| 2.3.1 | Alb und Unterkreide | 4 |
| 2.3.2 | Kimmeridge, Oxford, Dogger | 9 |
| 2.3.3. | Oberkreide, Quartär | 10 |
| 2.3.4 | Hydraulischer Kontakt des Schachtes Konrad 2 zum Hilssandstein | 10 |
| 2.4 | Hydraulische Durchlässigkeit der Unterkreide im Bereich des Konrad-Grabens | 11 |
| 2.5 | Unterschiede gegenüber den Rechenfällen R35 und R47, Zusammenfassung | 11 |
| 3 | ERGEBNISSE DER REGIONALEN HYDRAULISCHEN MODELLIERUNG | 13 |
| 3.1 | Potentiale | 13 |
| 3.2 | Wasserflüsse | 14 |
| 3.2.1 | Wasserflüsse durch das Grubengebäude | 14 |
| 3.2.2 | Wasserflüsse entlang Bohrungen | 15 |
| 3.2.3 | Wasserflüsse entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 | 15 |
| 4 | TRANSPORTWEGE | 19 |
| 4.1 | Ergebnisse der regionalen hydrogeologischen Modellierung und Festlegung des Ausbrei- tungsweges | 19 |
| 4.2 | Ergebnisse des lokalen hydrogeologischen Modells Oberkreide | 21 |
| 4.3 | Verdünnung im Quartär | 22 |
| 4.4 | Gesamte Verdünnung zwischen Grubengebäude und Biosphäre | 22 |

| | | |
|-------|--|----|
| B | MODELLIERUNG DER RADIONUKLIDAUSBREITUNG | 24 |
| 5 | EINLEITUNG | 24 |
| 6 | NUKLIDFREISETZUNG ENDLAGER-QUARTÄR | 25 |
| 6.1 | Nuklidfreisetzung aus dem Endlager | 25 |
| 6.2 | Definition der Transportparameter | 25 |
| 6.3 | Sorptionsparameter | 28 |
| 6.4 | Ergebnisse der Berechnung der Nuklidaus- breitung mit RANCHMD | 29 |
| 6.4.1 | Nuklidtransport durch Oxford und Kimmeridge . . | 29 |
| 6.4.2 | Nuklidtransport durch Unterkreide und Alb . . . | 30 |
| 6.4.3 | Nuklidtransport durch die Oberkreide | 30 |
| 6.4.4 | Konzentrationen im Quartär | 31 |
| | LITERATURVERZEICHNIS | 32 |

TABELLEN

- Tab. 1-1 Schächte Konrad 1 und Konrad 2. Lage der Grenzen der Verschlussmedien in den Verschlussvarianten 1 bis 4
- Tab. 1-2 Mächtigkeit der Deckschichten in den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (nach BfS 1990a)
- Tab. 2-1 Parameter. Geologische Einheiten und Störungszonen, Randbedingungen
- Tab. 2-2 Parameter. Eindimensionale Elemente (Bohrungen und Strecken)
- Tab. 2-3 Parameter. Eindimensionale Elemente (Schächte)
- Tab. 3-1 Rechenfall R49. Potentiale im Schacht Konrad 1 in Unterkreide und Alb
- Tab. 3-2 Durchflüsse durch das Grubengebäude inkl. Flüsse entlang Schächten und Strecken
- Tab. 3-3 Rechenfälle R35, R47 und R49. Flüsse entlang den Bohrungen (Schichtmitte) in m^3/a
- Tab. 3-4 Wasserflüsse (l/min) entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (in Schichtmitte)
- Tab. 4-1 Rechenfall R49. Hydraulische Kennwerte des Fliessweges durch den Schacht Konrad 1
- Tab. 4-2 Rechenfall R49. Parameter der Transportrechnung des Fliessweges durch den Schacht Konrad 1
- Tab. 6-1 Maximale Aktivitätskonzentrationen [Bq/m^3] an ausgewählten Punkten des Fliessweges durch den Schacht Konrad 1 in den Rechenfällen R49 und R35
- Tab. 6-2 Rechenfall R49. Zeitpunkt [a] der maximalen Aktivitätskonzentrationen an ausgewählten Punkten des Ausbreitungsweges durch den Schacht Konrad 1

ABBILDUNGEN

- Abb. 1-1 Rechenfall R47 (Modell47). Oberflächen-Elementnetz mit Verbreitungsgrenze des Hilssandstein und modellierten Bohrungen und Schächten
- Abb. 1-2 Modellierung des Schachtes Konrad 1 und der Nordstrecke
- Abb. 1-3 Modellierung des Schachtes Konrad 2 und der Doggerstrecke
- Abb. 1-4 Rechenfälle R34 und R35. Zonen erhöhter Durchlässigkeit der Unterkreide in Störungszonen
- Abb. 1-5 Rechenfälle R47 und R49. Zonen erhöhter Durchlässigkeit der Unterkreide in Störungszonen
- Abb. 2-1 Skizze der radialen Abhängigkeit des k_f -Wertes in der Auflockerungszone am Beispiel des Alb/Apt nach WITTKÉ (1991b)
- Abb. 3-1 Rechenfall R49. Potentialverteilung im Schnitt 398 mit Schacht Konrad 1 und Bohrungen Bleckenstedt 1 und Sauingen 2 (Abstand der Isolinien 0,5 m)
- Abb. 3-2 Rechenfall R49. Potentialunterschiede R47-R49 im Schnitt 398 mit Schacht Konrad 1 und Bohrungen Bleckenstedt 1 und Sauingen 2 (Abstand der Isolinien 0,1 m)
- Abb. 6-1 Rechenfall R49. Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von I-129 und U-238 an den Hauptpunkten des Ausbreitungsweges durch den Schacht Konrad 1

A HYDROGEOLOGISCHE MODELLIERUNG

1 EINLEITUNG, MODELLIERUNG

1.1 Einleitung

Im Rechenfall R49 soll untersucht werden, wie sich die durch Prof. Wittke (WITTKE 1991b) neu und systematisch ermittelten Werte der axialen Durchlässigkeit und Transmissivität der versiegelten Schächte Konrad 1 und Konrad 2 im Vergleich zum Rechenfall R35 auf eine mögliche Radionuklidfreisetzung auswirken. Die Modellrechnungen sollen zusätzlich zu den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 den hydraulischen Einfluss der ebenfalls durch eine systematische Neuinterpretation der Bohrlochverfüllung erhaltenen Parameter der alten Tiefbohrungen (WITTKE 1991a) berücksichtigen. Es ist damit im Rechenfall R49 vom hydrogeologischen Modell des Rechenfalls R47 (= Modell47) (COLENCO 1991) auszugehen.

Durchgeführt werden

- eine regionale hydrogeologische Modellrechnung mit Fluss-, jedoch ohne Fliesswegberechnungen (ausser Trajektorien entlang Schächten)
- eine Modellrechnung mit dem Lokalmmodell Oberkreide für den Schacht Konrad 1
- sowie eine Transportrechnung für die Nuklidfreisetzung zwischen Endlager und Quartär entlang dem Schacht Konrad 1 für die Radionuklide I-129 und U-238

1.2 Modellierung

1.2.1 Bohrungen

Im Rechenfall R49 werden dieselben Bohrungen berücksichtigt wie im Rechenfall R47 (vgl. Abbildung 1-1). Auch die Parameter für die Bohrungen sind identisch mit jenen des Rechenfalls R47.

Wie bei COLENCO (1991) in Abschnitt 1.2 detailliert beschrieben, sind im Jahre 1988 von der BGR im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens Konrad die im weiteren Modellgebiet der Grube Konrad gelegenen Tiefbohrungen einer Revision unterzogen worden, um sämtliche Bohrungen auf den heutigen stratigraphischen und damit einen identischen Kenntnisstand zu bringen. Die dadurch für den Rechenfall R47 notwendig gewordenen Modellanpassungen sind bei COLENCO (1991) in den Abschnitten 1.3 bis 1.9 besprochen. Alle Modellanpassungen der Mächtigkeiten erfolgten nur bis an die Basis der Unterkreide und erfassen lediglich die Bohrungen und Schächte, die keinen Hilssandstein führen.

1.2.2 Schachtverschluss

Das Konzept des Schachtverschlusses ist in BfS (1990a) beschrieben. Die bisherigen Modellrechnungen zum Schachtverschluss (COLENCO 1989b) bezogen sich sowohl auf frühere Konzepte (PTB 1986a) als auch auf das mit Variante 4 bezeichnete heutige Konzept. In diesem werden die untersten, im Bereich des Oxford und des Oberjura gelegenen Schachtabschnitte lediglich mit Haufwerk verfüllt. Die Lage der Grenzen zwischen den Verfüllmedien in den verschiedenen Verschlussvarianten ist in Tabelle 1-1 dargestellt.

Die revidierte Schichtserie der Schächte Konrad 1 und Konrad 2 (BfS 1990a) weist gegenüber den früheren Dokumenten ebenfalls Änderungen auf. Entsprechend wurde der Schacht Konrad 1 im Modell47 im Bereich der Deckschichten an die revidierte Schichtreihe angepasst. Da der Schacht Konrad 2 Hilssandstein führt, wurde mit der in COLENCO (1991, Abschnitt 1.3) angeführten Vorgehensweise auf eine Modellanpassung in diesem Schacht verzichtet. Die Modellierung der beiden Schächte (Schichtmächtigkeiten, Knoten-Nummern) ist in den Abbildungen 1-2 und 1-3 und Tab. 1-2 dargestellt.

1.2.3 Verminderung des Durchlässigkeitskontrastes zwischen Unterkreide und Alb

Die in COLENCO (1991) in Abschnitt 1.8.1 vorgestellten analytischen Rechnungen zeigten, dass die Erhöhung der Durchlässigkeit der Unterkreide in den Störungszonen - und damit die Erhöhung des Durchlässigkeitskontrastes zwischen Unterkreide und Alb - bezüglich der Ausbreitung von Schadstoffen entlang 1D-Strukturen (Bohrungen, Schacht Konrad 1) keine konservative Annahme darstellt. Aus diesem Grund wurde im Rechenfall R47 und damit auch im Rechenfall R49 im Konrad-Graben auf die Annahme einer Erhöhung der Durchlässigkeit in der Unterkreide verzichtet. Die k_f -Werte betragen damit im Konrad-Graben wie ausserhalb desselben 10^{-12} m/s im Alb und 10^{-11} m/s in der Unterkreide (kru).

Auch die Wahl der Durchlässigkeit der Unterkreide in der Vergitterungszone des Konrad-Grabens mit der Störungszone entlang dem Salzstockrand Broistedt-Wendeburg-Rolfsbüttel und in der Störungszone entlang dem Salzstockrand in der Umgebung der Bohrungen Wierthe 1, Sonnenberg 4, Vechelde 2/2a und 3 erfolgt im Rechenfall R49 analog wie im Rechenfall R47. Sie ist in COLENCO (1991) in Abschnitt 1.8.2 beschrieben.

Die Multiplikationsfaktoren für die übrigen Schichten im Konrad-Graben, in der Vergitterungszone und der Störungszone entlang dem Salzstockrand sowie jene der anderen Störungszonen behalten ihre Gültigkeit.

Die Gebiete erhöhter Durchlässigkeit der Unterkreide in den Störungszonen in den Rechenfällen R34 und R35 sind in Abb. 1-4, jene in den Rechenfällen R47 und R49 in Abb. 1-5 dargestellt.

2 PARAMETER

2.1 Schichteinheiten, Störungszonen, Strecken

Die Parameter für die hydrogeologischen Einheiten entsprechen, wie bereits bei den bisherigen Modellrechnungen zu den bestehenden Tiefbohrungen (COLENCO 1989a, 1991) und zum Schachtverschluss (COLENCO 1989b), denjenigen im Referenzfall R01 der Modellrechnungen für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell (MOTOR COLUMBUS, 1988). Sie sind in den Tabellen 2-1 und 2-2 (Seite 1) zusammengestellt.

2.2 Bohrungen

Für den Rechenfall R47 sind die Bohrlochparameter (Transmissivität, Durchmesser) basierend auf dem Bericht von Prof. Wittke (WITTKE 1991a) neu definiert worden. Eine ausführliche Beschreibung des zugrunde liegenden Berichtes von Prof. Wittke und die Kriterien bei der Parameterwahl für den Rechenfall R47 finden sich in COLENCO (1991, Kapitel 1 und Abschnitte 2.2).

Im Rechenfall R49 kommen die Parameter der Bohrungen des Rechenfalls R47 ohne Aenderung zur Anwendung. Ihre Werte gehen aus Tabelle 2-2 hervor.

2.3 Schächte

2.3.1 Alb und Unterkreide

Im Anschluss an die systematische Neuinterpretation der Bohrlochverfüllung (WITTKE 1991a), die zu den Bohrlochparametern des Rechenfalls R47 führten, erstellte Prof. Wittke ebenfalls eine detaillierte Analyse der Schachttransmissivität, in der der gebirgsmechanische Zustand und die hydraulische Transmissivität von Schachtverfüllung und Auflockerungszone nach dem Einbau der Schachtverfüllung quantitativ vorhergesagt wird (WITTKE 1991b). Der dabei charakterisierte Zustand ist durch den Abschluss des radialen Stützdruckaufbaus der Verfüllung auf den Stoss und der Konsolidierung des eingebrachten Tons (Gleitschicht) gekennzeichnet. Für die Modellrechnungen von Wittke wurde dafür mit einem vereinfachten Verfahren eine Periode von 38 Tagen (ab Einbringen der Verfüllung in der betrachteten Teufe) hergeleitet, wobei die tatsächliche Konsolidationszeit erheblich länger und die sich dadurch ergebenden Spannungen in der Verfüllung im Sinne des zu erbringenden Nachweises günstiger sein werden. Für den Nachweis der Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers bedeutet dies, dass durch die Analyse von Wittke der stationäre Zustand nach dem Ein-

bringen der Schachtverfüllung beschrieben wird.

Die Analyse umfasst im wesentlichen die folgenden Schritte:

- Berechnung des radialen Spannungsfeldes und der Gebirgsdehnung um den Schacht im gegenwärtigen und zukünftigen Zustand unter Berücksichtigung des zeitlichen Ablaufs von Schachtabteufen, Einbau der Schachtsicherung, Ausbau der Schachtsicherung, Einbau der Schachtverfüllung sowie der Wirkung der Schachtverfüllung
- Herleitung eines empirischen Zusammenhangs zwischen hydraulischer Durchlässigkeit und Gebirgsdehnung aus Messungen von k_f -Werten in der heutigen Auflockerungszone (AZ) und den im ersten Schritt ermittelten Daten für die Gebirgsdehnung. Dabei wurden aus den k_f -Tests ein oberer und ein unterer Grenzwert für die Durchlässigkeit abgeleitet. Der untere Grenzwert quantifiziert die wahrscheinlicheren Verhältnisse, da nach WITTKÉ (1991b) die hydraulischen Tests in den Bohrlöchern, mit denen die k_f -Werte in der Auflockerungszone bestimmt wurden, mindestens teilweise durch zusätzliche Auflockerungseffekte beeinflusst sind.
- Berechnung des k_f -Wertes in Abhängigkeit vom Achsabstand für den Zustand nach Einbringen der Schachtverfüllung (vgl. Skizze des Ergebnisses in Abb. 2-1)
- Berechnung der Schachttransmissivität gemäss

$$T = 2\pi \cdot \int_{R_0}^{R_1} k_f(r) r dr \quad (1)$$

wobei $R_0 = 5$ m Ausbruchradius für die Schachtverfüllung
 R_1 Radius, ab welchem $k_f < 10^{-10}$ m/s

Die Schachtverfüllung selbst trägt zur Schachttransmissivität in Gl. (1) nichts bei, da das Verfüllmaterial eine extrem geringe hydraulische Durchlässigkeit aufweist ($< 10^{-10}$ m/s).

Die Auswertungen wurden für zwei Datensätze durchgeführt: einerseits für den Datensatz der 343 m-Sohle (als typisch für Alb und Apt) und andererseits für jenen der 541 m-Sohle des Schachtes Konrad 2 (als typisch für Barrême und Hauterive). Die Radien R_1 betragen in beiden Datensätzen 9,7 m, d.h. dass die hydraulische Konduktivität in der Umgebung der Schächte in einem Bereich zwischen 5 m und 9,7 m ab Schacht-

achse gegenüber dem ungestörten Fels signifikant erhöht ist, wobei die Erhöhung radial gegen aussen zu abnimmt (vgl. Abb. 2-1). Wie weiter unten dargelegt wird, wird diese aufgelockerte Zone im Modell durch eine Zone mit geringerem Radius ($R_A = 7,75 \text{ m}$) und konstanter, relativ hoher hydraulischer Durchlässigkeit, jedoch gleicher axialer Transmissivität dargestellt. Dadurch wird im Modell die Kontaktfläche zwischen der Zone, in der der advective Radionuklidtransport erfolgt, und der Zone mit stagnierendem Porenwasser, in die Radionuklide durch Matrixdiffusion eindringen können, in pessimistischer Weise unterschätzt.

Die wichtigsten Ergebnisse der Auswertungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

| | Alb/Apt | Barrême/ Hauterive |
|--|--|--|
| T (unterer Grenzwert) | $3,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ | $1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ |
| T (oberer Grenzwert) | $3,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ | $1,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ |
| $k_{f,\text{max}}$ (Grenze Verf./ plast. Zone) (unterer Grenzwert) | $4 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ | $2 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ |
| k_f (Grenze plast. Zone) (unterer Grenzwert) | $1,7 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ | $1,2 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ |
| Radius plast. Zone | 7,5 m | 6,5 m |

Sowohl für die Modellierung der Nuklidausbreitung längs des Schachtes (mit Matrixdiffusion) als auch für die Simulation des Ausströmens des Wassers aus dem Schacht in die Oberkreide ist die Darstellung des Schachtes und seiner Auflockerungszone (AZ) durch eine kreisförmige Zone mit konstantem k_f -Wert (Zylinder) erforderlich, wobei die Zone mit erhöhtem k_f -Wert statt eines Vollzylinders auch ein Hohlzylinder sein darf.

Die Umsetzung der Ergebnisse von Wittke (1991b) in die Modellparameter für die hydrogeologische Modellierung und die Simulation der Nuklidausbreitung bedingt deshalb einige Vereinfachungen. Dabei wird von den nach Wittke wahrscheinlicheren unteren Grenzwerten ausgegangen:

- a) Schachttransmissivität (Verfüllung und AZ):
- | | |
|-------------------|--|
| Alb/Apt | $T = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ |
| Barrême/Hauterive | $T = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ |

- b) Simulation der AZ als Hohlzylinder um die Schachtverfüllung mit konstantem k_f -Wert. Wahl dieses k_f -Wertes als mittlerer Wert nach WITTKÉ (1991b) derart, dass 50 % der Fläche der plastischen Zone $k_f > k_{f,mittl.}$ und 50 % der Fläche der plastischen Zone $k_f < k_{f,mittl.}$ aufweist:

| | |
|-------------------|--|
| Alb/Apt | $k_{f,mittl.} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ |
| Barrême/Hauterive | $k_{f,mittl.} = 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ |

Innerer Radius der AZ (Radius des Schachtausbruchs für die Verfüllung): $R_0 = 5 \text{ m}$

Schachtverfüllung: geringer k_f -Wert (10^{-10} m/s)

- c) Festlegung des äusseren Radius der AZ R_A derart, dass Schacht und AZ die unter 1. spezifizierte Transmissivität aufweisen:

$$T = k_f \pi (R_A^2 - R_0^2) \quad (2)$$

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Alb/Apt | $R_A = 8,1 \text{ m}$ |
| Barrême/Hauterive | $R_A = 7,4 \text{ m}$ |

Da sich diese beiden Werte nur geringfügig unterscheiden, wird für die Modellierung ein gemeinsamer mittlerer Wert für den äusseren Radius der AZ gewählt:

$$R_A = 7,75 \text{ m}$$

Dies erfordert eine geringfügige Anpassung der Modellwerte der hydraulischen Durchlässigkeit in der AZ, damit mit Gl. (2) die von Wittke ermittelten T-Werte reproduziert werden:

| | |
|----------------------|--|
| k_f (Modellwerte): | |
| Alb/Apt | $k_f = 2,91 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ |
| Barrême/Hauterive | $k_f = 1,27 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ |

Die oben aufgeführten Berechnungen und Werte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

| | | Alb/Apt "Alb" | Barrême/ Hauterive "kru" |
|---|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| T | [m ³ /s] | 3.2·10 ⁻⁷ | 1.4·10 ⁻⁷ |
| k _{f,mittl.} (Wittke) ⁽¹⁾ | [m/s] | 2.5·10 ⁻⁹ | 1.5·10 ⁻⁹ |
| R _A (resultierend) ⁽²⁾ | [m] | 8.1 | 7.4 |
| R _A , Ansatz für Modell ⁽³⁾ | [m] | 7.75 | |
| Querschnittsfläche | [m ²] | 110 | |
| k _f , Modellwerte ⁽⁴⁾ | [m/s] | 2.91·10 ⁻⁹ | 1.27·10 ⁻⁹ |

- (1) Definiert durch: 50 % der Fläche der plastischen Zone mit $k_f > k_{f,mittl.}$, 50 % der plast. Zone mit $k_f < k_{f,mittl.}$
- (2) definiert durch $T = k_f \cdot \pi \cdot (R_A^2 - R_0^2)$ mit $R_0 = 5$ m und $k_f = k_{f,mittl.}$
- (3) berechnet gemäss $R_A = [\{ R_A^2(\text{Alb}) + R_A^2(\text{kru}) \} / 2]^{0.5}$
- (4) definiert durch $T = k_f \cdot \pi \cdot (R_A^2 - R_0^2)$ mit $R_0 = 5$ m und $R_A = R_A(\text{Ans. f. Mod.})$

Im numerischen Modell wird aus technischen Gründen wie bis anhin das relativ geringmächtige Apt, das im Liegenden an den Hilssandstein anschliesst, der Schicht "kru" zugewiesen.

In bezug auf die Schachtparameter in den hydrogeologischen Modellschichten "kru" und Alb wird der Rechenfall R49 wie folgt definiert:

| | | Alb | "kru" |
|---|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| T | [m ³ /s] | 3,2·10 ⁻⁷ | 1,4·10 ⁻⁷ |
| R ₀ , innerer Radius der AZ | [m] | 5 | 5 |
| R _A , äusserer Radius der AZ | [m] | 7,75 | 7,75 |
| Querschnittsfläche AZ | [m ²] | 110 | 110 |
| Modellwerte k _f : | | | |
| Schachtverfüllung | [m/s] | 1,0·10 ⁻¹⁰ | 1,0·10 ⁻¹⁰ |
| AZ | [m/s] | 2,91·10 ⁻⁹ | 1.27·10 ⁻⁹ |

AZ = Auflockerungszone

R₀ = Radius des Schachtausbruchs für die Verfüllung

Die Fließporosität des Schachtes (Verfüllung und Auflockerungszone) beträgt im Rechenfall R49 15 %, sie ist damit gleich gross wie die Matrixporosität der Unterkreide (Alb und kru).

2.3.2 Kimmeridge, Oxford, Dogger

Nach Wittke (1991b) beträgt die hydraulische Durchlässigkeit der Stützsäule im Kimmeridge, Oxford und Dogger, die aus einem Gemisch aus Brechsand, Split und Schotter mit einer gestreckten Kornverteilung besteht, weniger als 10^{-4} m/s. Über Ausdehnung und Durchlässigkeit der Auflockerungszone macht Wittke keine Angaben.

Wie die Analysen der Rechenfälle R35 und R38 zeigten, stellt die Durchlässigkeit des Schachtes im Bereich Kimmeridge und Oxford keinen wesentlichen sicherheitsrelevanten Parameter dar, da für die Modellierung der Radionuklid ausbreitung in jedem Fall eine direkte Freisetzung aus dem Endlager entlang dem Schacht durch Oxford und Kimmeridge angenommen werden muss und die zeitliche Verzögerung und damit die Konzentrationsverminderung in diesen Schichten nur gering ist. Aus diesem Grund wurde der Einfluss dieses Fließwegabschnittes in den meisten Rechenfällen sogar vernachlässigt.

Anders sind die Verhältnisse demgegenüber in bezug auf die Schachttransmissivität des Schachtes Konrad 2 im Dogger. Wie ein Vergleich der Rechenfälle R01 und R07 in MOTOR COLUMBUS (1988) zeigt, beeinflusst dieser Schachtabschnitt, der bis in den Cornbrash reicht, den Grubendurchfluss relativ stark.

In den bisherigen Rechenfällen, insbesondere im Fall R35, wurde diese hydraulische Verbindung wie folgt berücksichtigt: Im Modell verbindet der Schacht Konrad 2 den Cornbrash mit dem Oxford und dem Grubengebäude mit einer Transmissivität von $T = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$.

Damit wurde gleichzeitig auch der hydraulische Kurzschluss modelliert, der durch die vom Grubengebäude in den Dogger führenden Strecken, vor allem die Strecke vom Fuss des Schachtes Konrad 2 ins Grubengebäude (Strecke D), verursacht wird.

Nachdem weder für die Schächte noch für die Strecken Daten zur Ausdehnung und zur hydraulischen Durchlässigkeit der AZ im Kimmeridge, Oxford und Dogger vorliegen, werden für die Modellierung der Schächte Konrad 1 und Konrad 2 wie im Rechenfall R35 die folgenden Annahmen getroffen:

| | | Konrad 1 und Konrad 2: Oxford/Kim- meridge | Strecke D ⁽¹⁾ und Schacht Konrad 2: Dogger |
|-----------------------------|---------------------|---|--|
| Ausbruchquer- schnitt | [m ²] | 64 | ca. 100 |
| Dicke AZ | [m] | 4 | 4 |
| k _f (Verfüllung) | [m/s] | 1·10 ⁻⁴ | 1·10 ⁻⁴ |
| k _f (AZ) | [m/s] | 1·10 ⁻⁴ | 1·10 ⁻⁶ |
| T | [m ³ /s] | 2,3·10 ⁻² | 1·10 ⁻² |

⁽¹⁾ Strecke D zwischen Fuss Schacht Konrad 2 und Grubengebäude

2.3.3. Oberkreide, Quartär

Für die Schachtverfüllung (Asphalt) und die Auflocke-
rungszone in der Oberkreide und im Quartär wird in
sehr konservativer Weise ein hoher k_f-Wert von 1 m/s
angenommen. Die Wahl dieses hohen Wertes dient dem
Nachweis, dass selbst ein völliger Wegfall der abdich-
tenden Wirkung der Asphaltverfüllung in diesem Ab-
schnitt keine ungünstigen Auswirkungen auf die Frei-
setzung von Radionukliden hat.

| | Oberkreide |
|---|-----------------------|
| k _f (Verfüllung) = k _f (AZ) | 1 m/s |
| R _A | 8,5 m |
| T | 230 m ³ /s |

2.3.4 Hydraulischer Kontakt des Schachtes Konrad 2 zum Hils- sandstein

Nach WITTKÉ (1991b), Abschnitt 9.4, soll der hydraulische Kontakt zwischen dem wasserführenden Hils-sandstein und dem Schacht Konrad 2 technisch unterbrochen (abgedichtet) werden. Wie im Rechenfall R35 wird konservativ angenommen, dass diese Abdichtung versagt und der Zustrom von Wasser aus dem Hils-sandstein und entlang dem Schacht Konrad 2 ins Endlager nicht unterbunden wird.

Selbst bei einem entkoppelten Schacht Konrad 2 kann wegen der Fernwirkung des Hilssandstein, d.h. wegen des in der unteren Unterkreide herrschenden, nach unten gerichteten Gradienten, entlang dem Schacht Konrad 2 keine Nuklidfreisetzung erfolgen.

2.4 Hydraulische Durchlässigkeit der Unterkreide im Bereich des Konrad-Grabens

Wie im Rechenfall R47 wird für die Schicht Unterkreide (kru) die hydraulische Durchlässigkeit im Bereich des Konrad-Grabens gegenüber dem regionalen Wert von 10^{-11} m/s nicht erhöht.

2.5 Unterschiede gegenüber den Rechenfällen R35 und R47, Zusammenfassung

Die Parameter des Rechenfalls R49 sind in den Tabellen 2-1 bis 2-3 zusammengestellt.

Gegenüber dem Rechenfall R35 unterscheidet sich der Rechenfall R47 in den Bohrlochparametern, während die Schachtparameter unverändert bleiben.

Gegenüber dem Rechenfall 47 bleiben die T-Werte der Bohrungen unverändert. Jedoch weisen die Schachtparameter folgende Unterschiede auf:

- oberhalb der Obergrenze des Alb durch eine um das 10^4 -fache erhöhte Transmissivität
- in Alb und Unterkreide durch eine 0,139-fach (Alb) bzw. 0,061-fach (kru) geringere Transmissivität

Unterhalb der Basis Unterkreide bleibt die Schachtransmissivität unverändert.

Die hydraulischen Parameter der Schächte (Verfüllung und Auflockerungszone) für den Rechenfall R49 sind in nachstehender Tabelle zusammenfassend dargestellt.

| Schicht | T [m ³ /s] | k _f [m/s] | R ₀ ⁽¹⁾ [m] | Fläche [m ²] | R _A [m] |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|
| Oberkreide | 230 | 1 | - | 230 | 8,5 |
| Alb | 3,2·10 ⁻⁷ | 2,91·10 ⁻⁹ | 5,0 | 110 | 7,75 |
| kru | 1,4·10 ⁻⁷ | 1,27·10 ⁻⁹ | 5,0 | 110 | 7,75 |
| Kimmeridge Oxford | 2,3·10 ⁻² | 1·10 ⁻⁴ | - | 230 | 8,5 |
| Dogger | 1·10 ⁻² | 1·10 ⁻⁴ | - | 100 | - |

(1) Radius der inneren, undurchlässigen Zone
 (= Schachtverfüllung mit k_f-Wert 1·10⁻¹⁰ m/s)

3 ERGEBNISSE DER REGIONALEN HYDRAULISCHEN MODELLIERUNG

3.1 Potentiale

Da im Rechenfall R49 im Vergleich zum Rechenfall R47 lediglich die Parameter der Schächte Konrad 1 und Konrad 2 geändert worden sind, sind Potentialänderungen – vor allem im Bereich dieser zwei Strukturen zu erwarten. Die Potentiale in Unterkreide und Alb im Schacht Konrad 1 sind in Tabelle 3-1 zusammengestellt. Die Potentialverteilung im Schnitt 8-9, der neben dem Schacht Konrad 1 auch die Bohrungen B67 und B320 enthält, sind in den Abbildungen 3-1 und 3-2 dargestellt. Ein Vergleich der Potentiale in den Rechenfällen R35, R47 und R49 geht aus nachstehender Tabelle hervor.

| | Potentiale im Schacht Konrad 1 | | |
|--------------------|--------------------------------|--------|--------|
| | R35 | R47 | R49 |
| Top Alb [m ü.M.] | 88,60 | 86,96 | 87,00 |
| Basis Alb [m ü.M.] | 103.43 | 96.13 | 98.41 |
| Basis kru [m ü.M.] | 106.71 | 103.65 | 103.64 |

An der Basis der Unterkreide ist das Potential in den beiden Rechenfällen R47 und R49 praktisch gleich, was auf die geringen Parameterunterschiede zwischen den beiden Rechenfällen zurückzuführen ist. Die beiden Rechenfälle unterscheiden sich einzig in den Transmissivitätswerten der Schächte: Unterhalb des Top Alb, in den Deckschichten kru und Alb ist diese rund eine Größenordnung geringer als in R47 (vgl. Tab. 2-3). Demgegenüber beträgt der Potentialunterschied an der Basis Unterkreide zwischen R35 und R49 über 3 m. Wie bereits in COLENCO (1991, Abschnitt 3.1) diskutiert, ist dieses relativ bedeutende Absinken des Potentials in den Aquiferen Kimmeridge und Oxford eine Folge der Erniedrigung des k_f -Wertes der Unterkreide (kru) im Konrad-Graben und in Bereichen der Störungszone entlang dem Salzstockrand (vgl. Abb. 1-4 und 1-5) auf den regionalen Wert von $1 \cdot 10^{-11}$ m/s.

An der Basis des Alb ist einerseits zwischen den Rechenfällen R35 und R47 eine Erniedrigung des Potentials um 7,3 m zu beobachten, obwohl die Transmissivität entlang dem Schacht Konrad 1 in beiden Rechenfällen identisch ist. Auch dieser Potentialunterschied ist praktisch vollständig auf die oben beschriebene Erniedrigung des k_f -Wertes der Unterkreide im Bereich des Konrad-Grabens zurückzuführen. Diese reduziert den radialen Zufluss von Wasser aus der Schicht kru in den Schacht und führt dadurch auf ein gleichmässigeres Po-

tentialprofil längs des Schachtes, insbesondere also auf einen höheren hydraulischen Gradienten in der kru (vgl. Diskussion in COLENCO 1991, Abschnitt 1.8.1 und Abb. 1-13). Die Potentialerhöhung zwischen den Rechenfällen R47 und R49 an der Basis Alb von 2,28 m hingegen ist eine Folge der reduzierten und im Alb und kru nicht identischen Transmissivität des Schachtes. Dadurch erhält der radiale Zufluss in den Schacht zum einen ein höheres relatives Gewicht und wird zum anderen durch die zusätzliche Potentialabsenkung im Schacht, die aus der im kru gegenüber dem Alb geringeren Transmissivität folgt, zusätzlich absolut verstärkt.

In der Umgebung des Schachtes Konrad 2 ändert sich an der Basis des Alb das Potential zwischen den Rechenfällen R35 und R47/R49 nur geringfügig (vgl. untenstehende Tabelle), da hier der Hilssandstein das Potential zwischen den Schichten Unterkreide und Alb fixiert. Aus den bereits oben angeführten Gründen ist das Potential auch im Schacht Konrad 2 an der Basis der Unterkreide in den beiden Rechenfällen R47 und R49 identisch, während zwischen R35 und R47 ebenfalls eine Erniedrigung um etwas mehr als 3 m zu verzeichnen ist.

| | Potentiale im Schacht Konrad 2 | | |
|--------------------|--------------------------------|--------|--------|
| | R35 | R47 | R49 |
| Top Alb [m ü.M.] | 88.60 | 86.96 | 87.00 |
| Basis Alb [m ü.M.] | 114.33 | 114.66 | 114.67 |
| Basis kru [m ü.M.] | 106.73 | 103.67 | 103.66 |

3.2 Wasserflüsse

3.2.1 Wasserflüsse durch das Grubengebäude

Wie aus Tabelle 3-2 hervorgeht, beträgt der gesamte Wasserfluss durch das Grubengebäude 1,46 l/min (770 m³/a) und ist damit gleich wie im Rechenfall R47. Gegenüber dem Rechenfall R35 (1,22 l/min, 640 m³/a) ist damit eine Erhöhung des Grubendurchflusses um 20 % zu verzeichnen. Wie in COLENCO (1991, Abschnitt 3.2.1) detailliert ausgeführt, wird diese Erhöhung ausschliesslich durch eine Verstärkung des Zuflusses durch die Doggerstrecke bewirkt und ist wie die Potentialänderungen in Kimmeridge und Oxford letztlich eine Folge der Herabsetzung des k_f -Wertes der Unterkreide im Konrad-Graben auf den regionalen Wert von $1 \cdot 10^{-11}$ m/s.

Ebenso wie der gesamte Grubendurchfluss sind auch die Flüsse durch die Strecken, Schächte und Bohrungen in den Rechenfällen R49 und R47 praktisch identisch. Einzig beim Zufluss aus dem Schacht Konrad 2 ist eine Erniedrigung des (bereits in R47 und R35 sehr geringen) Zuflusses von 0,01 l/min auf 0,001 l/min zu beobachten (vgl. Abschnitt 3.2.3). Dieser an und für sich irrelevante Unterschied tritt auf, obwohl der Oxfordabschnitt im Rechenfall R49 dieselbe Transmissivität wie in R47 (und R35) aufweist und dürfte auf die flache vertikale Potentialverteilung, die Lage des Schachtes im Übergangsbereich zwischen abwärts geneigten und aufwärts gerichteten Fließrichtungen im Oxford sowie den geringeren Fluss entlang dem Schacht durch die Unterkreide zurückzuführen sein.

3.2.2 Wasserflüsse entlang Bohrungen

Zwischen den Bohrlochflüssen der Rechenfälle R35 und R47 (vgl. Tab. 3-3) bestehen infolge der auf WITTKÉ (1991a) beruhenden Neufestlegung der Transmissivitäten der Bohrungen (vgl. Abschnitt 2.2) und der partiellen Anpassung der Bohrlochabschnitte an die revidierten Bohrprofile zahlreiche Unterschiede. Diese sind in COLENCO (1991, Abschnitt 3.2.2) ausführlich besprochen worden.

Infolge unveränderter K- und T-Werte sind die Wasserflüsse entlang den Bohrungen in den Rechenfällen R47 und R49 identisch.

3.2.3 Wasserflüsse entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2

Tabelle 3-4 enthält die Wasserflüsse entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2. Die angeführten Werte entsprechen den Flüssen in der Schichtmitte der einzelnen geologischen Schichteinheiten. In den Rechenfällen R35 und R47 sind die Schachtparameter (Tab. 2-3) und damit weitgehend auch die Wasserflüsse identisch. Die qualitative Veränderung der Flüsse entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 geht aus nachstehender Tabelle hervor.

| Wasserflüsse R35 und R47 | Konrad 1 | Konrad 2 |
|--------------------------|--------------|----------|
| identisch | jo | Alb |
| R47 > R35 | kru | kro, kru |
| R47 < R35 | kro, Alb, ox | jo, ox |

Die Veränderung der Wasserflüsse entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 in der Oberkreide werden durch die in COLENCO (1991, Abschnitt 1.9) bereits für die Bohrungen beschriebenen Anpassungen im Modell47 des Grundwasserspiegels am Schachtpunkt verursacht. Wie in Colenco (1991, Abschnitt 3.2.2.1) angeführt, darf den berechneten Wasserflüssen in der Oberkreide kein Gewicht zugemessen werden, da durch die Modellauslegung die oberflächennahen Fliessysteme nicht im Detail belastbar wiedergegeben werden.

Im Alb ist der Wasserfluss entlang dem Schacht Konrad 1 im Rechenfall R47 um 28 % niedriger als in R35, trotz der im Modell47 rund 13 % geringeren Mächtigkeit dieser Schicht. Eine damit verbundene Vergrößerung des Gradienten wird verhindert durch das Absinken der Potentialdifferenz zwischen Basis und Top Alb, die sich von 14,83 m im Rechenfall R35 auf 9,17 m im Rechenfall R47 verringert und damit wesentlich für die erwähnte Verringerung des Wasserflusses durch das Alb verantwortlich ist. Entlang dem Schacht Konrad 2 erfährt der Wasserfluss durch das Alb infolge des fixierten Potentials im Hilssandstein keine Veränderung.

In der Unterkreide hingegen nimmt der Wasserfluss entlang dem Schacht Konrad 2 um 45 % zu. Da der Schacht Konrad 2, wie in den Abschnitten 1.2.1 und 1.2.2 erwähnt, im Modell47 keine Modellanpassungen erfuhr und das Potential im Hilssandstein nur geringfügig (0,3 m) höher ist als in R35, wird die Vergrößerung des Wasserflusses durch die Unterkreide zum grössten Teil durch die Verringerung des Potentials im Kimmeridge und durch die sich daraus ergebende Vergrößerung des Gradienten bewirkt. Wie bei COLENCO (1991) erwähnt, ist diese relativ bedeutende Erniedrigung des Potentials in den Aquiferen Oxford und Kimmeridge (in der Umgebung des Grubengebäudes rund 3,1 m) eine Folge der Erniedrigung des k_f -Wertes der Unterkreide im Konrad-Graben auf den regionalen Wert von $1 \cdot 10^{-11}$ m/s und dem dadurch verringerten Wasserfluss aus dem Hilssandstein durch die Unterkreide ins Oxford und Kimmeridge (vgl. die Ausführungen in COLENCO 1991, Abschnitt 3.1).

In den Schichtmitten von Oxford und Kimmeridge sind die Wasserflüsse in beiden Schächten im Rechenfall R47 geringer als in R35 ist (Ausnahme: Kimmeridge im Schacht Konrad 1). Auch diese Verringerung um 9-23 % (9 % im Oxford von Konrad 1) dürfte eine Folge der Herabsetzung des k_f -Wertes der Unterkreide im Konrad-Graben auf den regionale Wert von $1 \cdot 10^{-11}$ m/s und des damit zusammenhängenden reduzierten Wasserzuflusses aus dem Hilssandstein in den Kimmeridge und Oxford sein. Da in den folgenden Nuklidausbreitungsrechnung eine Verzögerung durch den Transport durch diese beiden Schichten vernachlässigt wird (vgl. Abschnitt

4.1), sind die Veränderungen des Wasserflusses entlang den Schachtabschnitten Oxford und Kimmeridge ohne Bedeutung.

Auch beim Vergleich der Rechenfälle R47 und R49 sind Veränderungen im Wasserfluss entlang den verschiedenen Schachtabchnitten zu beobachten (siehe nachstehende Tabelle).

| Wasserflüsse R47 und R49 | Konrad 1 | Konrad 2 |
|-----------------------------|--------------|------------------|
| identisch | ox | -- |
| R49 > R47 | kro | kro |
| R49 < R47 | Alb, kru, jo | Alb, kru, jo, ox |

Da für den Rechenfälle R49 das Modell47 übernommen worden ist, sind diese Unterschiede vollumfänglich auf die Veränderung der Schachtparameter in den verschiedenen Abschnitten (vgl. Tab. 2-3) zurückzuführen.

Die folgende Tabelle enthält die jeweiligen Verhältnisse der Transmissivitäten und der Flüsse in den beiden Schächten zwischen den Rechenfällen R49 und R47 (R49:R47). In der Oberkreide nimmt in beiden Schächten der abwärtsgerichtete Fluss in Schichtmitte zu. Diese Erhöhung des Flusses steht im Zusammenhang mit der sehr hohen modellierten Transmissivität des Schachtabschnittes Oberkreide (230 m³/s). Generell gilt für die Flüsse in der Oberkreide auch hier das oben beim Vergleich der Rechenfälle R35 und R47 Gesagte.

| | Konrad 1 | Konrad 2 |
|-----|---|----------|
| | Verhältnis Transmissivität R49:R47 | |
| kro | 1 · 10 ⁴ | |
| Alb | 0,139 | |
| kru | 0,061 | |
| jo | 1 | |
| ox | 1 | |
| | Verhältnis Fluss in Schichtmitte R49:R47 | |
| kro | 1,45 | 2,68 |
| Alb | 0,17 | 0,14 |
| kru | 0,039 | 0,061 |
| jo | 0,95 | 0,26 |
| ox | 1 | 0,12 |

In den Deckschichten **Unterkreide** und **Alb** entspricht die Veränderung der Flüsse im Schacht Konrad 2 genau den Verhältnissen der T-Werte in den beiden Rechenfällen, da die Potentiale am Top Alb, im Hilssandstein und an der Basis kru jeweils gleich sind (vgl. Abschnitt 3.1). Im Schacht Konrad 1 folgen die Wasserflüsse nicht genau den relativen Veränderungen der Transmissivitäten in den Schachtabschnitten **Unterkreide** und **Alb**. Der Grund dafür liegt im unterschiedlichen relativen Ausmass der radialen Zuflüsse aus der **Unterkreide** in den Rechenfällen R49 und R47. In R49 ist die Schachttransmissivität und damit der Wasserfluss längs des Schachtes geringer, wodurch der Zufluss ein grösseres relatives Gewicht erhält. Zudem ist der Potentialabfall im Schacht in der **Unterkreide** (kru) wegen der gegenüber dem Albabschnitt geringeren Transmissivität grösser als im Rechenfall R47, wo der Schacht in kru und Alb die gleiche Transmissivität aufweist. Dadurch wird der Zufluss in den Schacht auch absolut erhöht. Aus diesen Gründen nimmt der Wasserfluss in der **Unterkreide** (kru) im Rechenfall R49 gegenüber R47 stärker ab als es dem Verhältnis der T-Werte entsprechen würde.

Kimmeridge und **Oxford** weisen in beiden Rechenfällen dieselben Schachttransmissivitäten auf. Im Schacht Konrad 1 verändert sich der Wasserfluss nicht, während jener in Konrad 2 deutlich geringer ist. Dieses unterschiedliche Verhalten dürfte damit zusammenhängen, dass der im südlichen Teil Grube auftretende Wasserzufluss hauptsächlich von unten (Doggerstrecke Konrad 2) und von Süden (aus dem Gebiet südlich des Konrad-Grabens) her erfolgt. Die Verringerung des Wasserflusses entlang dem Schacht Konrad 2 durch die **Unterkreide** hat damit ebenfalls eine Verringerung des Flusses durch die Schachtabschnitte im **Kimmeridge** und **Oxford** zur Folge. Im Norden, im Abflussbereich der Grube, verteilt sich der Abfluss aus Grube auf den gesamten Aquifer **Oxford/Kimmeridge**. Die Reduktion des Wasserabflusses entlang dem Schacht durch die Deckschichten ist damit nur von sekundärer Bedeutung für den Wasserfluss entlang dem Schachtabschnitt in diesem Aquifer.

4 TRANSPORTWEGE

4.1 Ergebnisse der regionalen hydrogeologischen Modellierung und Festlegung des Ausbreitungsweges

Die Ergebnisse der regionalen hydrogeologischen Modellierung zeigen als Folge der bereits im Rechenfall R47 durchgeführten Änderungen (Modellanpassungen, Parameter der Bohrungen) zahlreiche Unterschiede zwischen den Rechenfällen R49 und R35 in den Wasserflüssen entlang den Bohrungen und ein generell um rund 3 m niedrigeres Potential in den Schichten Oxford und Kimmeridge im Gebiet des Grubengebäudes. Der Grubendurchfluss erfährt eine deutliche Erhöhung, während die Wasserfliessraten in den Schächten durch die Deckschichten Unterkreide und Alb infolge der im Vergleich zu R35 geringeren Schachttransmissivitäten abnehmen.

Aufgrund der Fliessverhältnisse im Bereich Grubengebäude und Schacht Konrad 1 durch Oxford und Kimmeridge wurde im Rechenfall R35 für die Nuklidmigration als kritischer Freisetzungspfad ein Fliessweg vom Grubengebäude direkt in den Schacht Konrad 1 und entlang diesem bis zur Basis der Oberkreide gewählt. Der Rechenfall R49 zeigt einen um 20 % erhöhten Grubendurchfluss (Abschnitt 3.2.1, Tabelle 3-2) und ungefähr die gleichen Fliessraten im Schacht Konrad 1 durch die Schichten Oxford und Kimmeridge (Tabellen 3-2 und 3-4). Der im Rechenfall R35 massgebende Freisetzungspfad zwischen Grubengebäude und Basis Oberkreide ist auch für R49 bestimmend.

Durch die Schichten Oxford und Kimmeridge fliesst das Wasser entlang dem Schacht mit einer Abstandsgeschwindigkeit von 2,5 m/a bzw. 1,3 m/a (Schichtmitte). Diese Geschwindigkeiten sind etwas höher als im Rechenfall R35. Damit kann wie im Fall R35 die Verzögerung der Freisetzung während des Transportes durch diese beiden Schichten vernachlässigt werden. Das kontaminierte Wasser aus dem Grubengebäude erreicht unverdünnt und praktisch ohne Verzögerung über den Schacht Konrad 1 die Basis der Unterkreide. Die Strecke durch Oxford und Kimmeridge wird in der Nuklidmigrationsrechnung nicht berücksichtigt.

In Tabelle 3-4 werden die Wasserflüsse entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 in den verschiedenen Rechenfällen verglichen. Es handelt sich dabei um die Flüsse in den Schichtmitten der einzelnen geologischen Einheiten. Wie bei den bisherigen Rechnungen (vgl. COLENCO 1990) werden auch im Rechenfall R49 den Transportrechnungen die Wasserflüsse an der Basis der Unterkreide und im obersten Teil des Alb zugrunde gelegt (Wassermenge, Verdünnung). Die Fliessraten an der Basis der Unterkreide sind generell geringer, jene im obersten Teil des Alb theoretisch leicht höher als in

der entsprechenden Schichtmitte (= Werte der Tabelle 3-4).

Der Wasserfluss im oberen Teil des Alb (Abfluss vom Alb in die Oberkreide), der sich aus den in Tab. 3-1 aufgeführten, mit dem regionalen Modell berechneten Potentialen ergibt, beträgt $1,34 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$ (entsprechend $8,05 \cdot 10^{-4} \text{ l/min}$). An der Basis der Unterkreide beträgt der Zufluss aus dem Kimmeridge $1,08 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$ ($6,50 \cdot 10^{-5} \text{ l/min}$). Dies ergibt eine Verdünnung in den Deckschichten Unterkreide und Alb um den Faktor 12.

Der minimale Wasserfluss entlang dem Schacht, im Rechenfall R49 der Zufluss an der Basis der Unterkreide, bestimmt wesentlich die Radionuklidfreisetzung, denn er ist direkt proportional zur Menge Radionuklide, die pro Zeiteinheit aus dem Endlager über den hier betrachteten Freisetzungspfad "Schacht" abfließen können. Im Rechenfall R49 ist der minimale Wasserfluss um den Faktor 6 geringer als im Fall R35.

Der Abfluss am Top Alb bestimmt die Verdünnung im Schacht durch zufließendes Wasser. Sofern in der Oberkreide und im Quartär eine weitere Verdünnung auf eine feste Wasserflussrate erfolgt, ist die bereits im Schacht stattfindende Verdünnung von untergeordneter Bedeutung. Der Abfluss am Top Alb ist im Fall R49 rund 8 mal kleiner als im Fall R35 und die Verdünnung entsprechend etwas geringer.

Die Fliesszeit entlang dem Schacht von der Basis der Unterkreide bis zum Top Alb wird ebenfalls aus den in Tab. 3-1 aufgeführten Potentialwerten berechnet. Die Berechnung erfolgt gleich wie im Fall R35 gemäss

$$t = \sum_i \frac{\Delta z_i^2}{\Delta h_i} \cdot \frac{\epsilon_i}{k_{f,i}}$$

wobei

| | |
|--------------|--|
| t | Fliesszeit |
| i | Paare benachbarter Knoten |
| Δz_i | Knotenunterschied der benachbarten Knoten |
| Δh_i | Potentialunterschied der benachbarten Knoten |
| $k_{f,i}$ | k_f -Wert der AZ zwischen dem Knotenpaar i |
| ϵ_i | Porosität in der AZ zwischen dem Knotenpaar i, hier $\epsilon_i = 15 \%$ |

Für den Rechenfall R49 ergibt sich eine Fliesszeit von 98'400 Jahren, entsprechend einer mittleren Abstandsgeschwindigkeit für die 571 m lange Strecke von 0,0058 m/a.

Die hydraulischen Kennwerte des Fliessweges durch die Unterkreide (kru und Alb) sind in Tab. 4-1 zusammengestellt.

Im Vergleich zum Rechenfall R35 ist die Fliesszeit im Rechenfall R49 rund um den Faktor 7 länger. Der Unterschied rührt vom kleineren k_f -Wert und von der grösseren Fliessporosität her und wird durch das etwas gleichmässiger Potentialprofil entlang dem Schacht nur zum Teil vermindert.

4.2 Ergebnisse des lokalen hydrogeologischen Modells Oberkreide

Wie in den früheren Rechenfällen wird ein lokales Modell OBERKREIDE angewendet, um das Ausströmen des kontaminierten Wassers aus dem Alb in die Oberkreide genauer zu simulieren (COLENCO 1990). Ausgangspunkt der Rechnung mit diesem Modell ist ein Fluss von $8,05 \cdot 10^{-4}$ l/min im Schacht Konrad 1 an der Basis der Oberkreide. Die hydrogeologischen Parameter sind dem regionalen Modell entnommen.

Am Ort des Schachtes Konrad 1 beträgt der horizontale hydraulische Gradient rund 0,3%. Für die Oberkreide wird eine Kluftporosität von 0,02% und eine Durchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-7}$ m/s angenommen (vgl. Tabellen 2-1 und 4-2), was eine horizontale Fliessgeschwindigkeit von 47,3 m/a ergibt. Im regionalen Modell ist die Fliessrichtung in der Oberkreide vorwiegend horizontal; Fliesswege weisen in der Oberkreide typischerweise eine Steigung von 15° oder weniger auf. Für die Modellierung des Radionuklidtransportes wird, wie im Rechenfall R35, ein konservativ hoher Wert von 30° angenommen. Bei einer gesättigten Mächtigkeit der Oberkreide von 217,5 m ergibt sich für das aus dem Schacht austretende Wasser ein Fliessweg von etwa 433 m bis an die Basis Quartär und eine Fliesszeit von rund 8 Jahren (bei einer Abstandsgeschwindigkeit entlang dem Fliessweg von 54,6 m/a).

Die Rechnung mit dem lokalen Modell OBERKREIDE zeigt, dass trotz der hohen Transmissivität des Schachtes in der Oberkreide das potentiell kontaminierte Wasser in den untersten 1,7 m aus dem Schacht in die Oberkreide austritt. Damit bildet sich in der Oberkreide eine 1,7 m mächtige kontaminierte Fahne. Nach der Gleichung für den Einflussbereich eines Brunnens wird diese Fahne eine asymptotische Halbbreite von 13,1 m erreichen (Gleichung 2.4 in COLENCO 1990). Als Folge der Querdispersion entwickelt sich bei einer Peclet-Zahl von 1 000 nach der Fliessdistanz von 433 m eine kontaminierte Fahne mit 59 m Breite (COLENCO 1990, Abschnitt 2.2.3). Die Querdispersion in vertikaler Richtung wird vernachlässigt, was bei einer Anfangsmächtigkeit der

kontaminierten Fahne von 1,7 m zu einer konservativen Überschätzung der Konzentration in der Oberkreide führt, auf die berechneten Konzentrationen im Quartär aber keinen Einfluss hat. Mit dieser Annahme erreicht die kontaminierte Fahne die Obergrenze der Oberkreide mit einer Breite von 59 m und einer Mächtigkeit von 1,7 m.

Durch diesen Querschnitt von 100 m² fließen in der Oberkreide 0,95 m³/a, entsprechend $1,8 \cdot 10^{-3}$ l/min. Verglichen mit dem Wassereintritt aus dem Schacht in die Oberkreide ergibt dies eine Verdünnung in der Oberkreide um den Faktor 2,2.

4.3 Verdünnung im Quartär

Am Ort des Austritts der kontaminierte Fahne aus der Oberkreide beträgt die gesättigte Zone des Quartärs nur 1 m. (Dies entspricht dem angenommenen Minimalwert bei geringmächtigem gesättigtem Quartär (vgl. COLENCO 1991)). Das potentiell kontaminierte Wasser aus der Oberkreide vermischt sich mit dem Wasser des Quartärs. Der Gesamtfluss im Quartär beträgt 55,8 m³/a, entsprechend 0,106 l/min. Das Verhältnis dieses Flusses zu der aus der Oberkreide ins Quartär eintretenden potentiell kontaminierten Wassermenge stellt die Verdünnung im Quartär dar; sie erreicht damit einen Faktor von 58.

4.4 Gesamte Verdünnung zwischen Grubengebäude und Biosphäre

Die Verdünnungsfaktoren für die einzelnen Teilabschnitte des Freisetzungspfades betragen:

| Fliesswegabschnitt | Verdünnungsfaktor |
|-----------------------|-------------------|
| Oxford und Kimmeridge | 1 |
| Unterkreide und Alb | 12 |
| Oberkreide | 2,2 |
| Quartär | 58 |

Daraus resultiert für den gesamten Transportweg ein Verdünnungsfaktor von rund 1500.

Demgegenüber betragen die Verdünnungsfaktoren im Fall R35:

| Fliesswegabschnitt | Verdünnungsfaktor |
|-----------------------|-------------------|
| Oxford und Kimmeridge | 1 |
| Unterkreide und Alb | 16 |
| Oberkreide | 1,8 |
| Quartär | 10 |
| Total | 288 |

Der Unterschied im gesamten Verdünnungsfaktor zwischen den Rechenfällen R49 und R35 von rund einem Faktor 5 ist zur Hauptsache auf den geringeren Wasserfluss entlang dem Schacht an der Basis der Unterkreide im Fall R49 zurückzuführen.

B MODELLIERUNG DER RADIONUKLIDAUSBREITUNG**5 EINLEITUNG**

Die hydrogeologische Modellierung zeigt, dass die Bewegung der Tiefengrundwässer entlang dem Schacht Konrad 1 durch das Deckgebirge einen möglichen Freisetzungspfad bildet, entlang dem Radionuklide aus dem Endlager in die Biosphäre gelangen können. Bei der Modellierung des Radionuklidtransportes entlang den Abschnitten und Teilabschnitten der Fließwege:

- Schacht Konrad 1 durch Oxford und Kimmeridge
- Schacht Konrad 1 durch Unterkreide und Alb
- Oberkreide (Plänerkalke)

werden Advektion, Dispersion, Matrixdiffusion und Sorption in der Matrix und im Schacht berücksichtigt.

Die numerische Simulation erfolgt mit dem Computerprogramm RANCHMD (siehe COLENCO 1990, Abschnitt 3.2), welches die Ausbreitung für konstante Fließweg- und Sorptionskonstanten sowie für Dispersion in Fließrichtung berechnet. Die Aktivitätsfreisetzung aus dem Endlager bildet den Quellterm für das Transportmodell. Ergebnisse der Modellrechnungen sind der zeitliche Verlauf des Aktivitätsflusses oder der Aktivitätskonzentration am Ende eines Fließwegabschnittes.

Den abschnittsweise unterschiedlichen Fließwegparametern wird durch sukzessive Anwendung des Programms RANCHMD Rechnung getragen, wobei die Resultate der Transportberechnung des ersten Abschnittes die Eingangsdaten für die Berechnung des zweiten Abschnittes bilden. Die Verdünnung innerhalb eines Abschnittes, hervorgerufen durch Querdispersion oder Zufluss von nicht kontaminiertem Wasser auf den Wegabschnitten im Schacht, wird am Ende des jeweiligen Wegabschnittes berücksichtigt, wobei das Verhältnis des abfließenden Aktivitätsflusses und des entsprechenden Wasserflusses die resultierende Austrittskonzentration ergibt.

Aufgrund schon berechneter Fälle ist es möglich, zwei repräsentative Nuklide zu wählen, die einen zuverlässigen Hinweis auf die zu erwartenden Ergebnisse einer vollständigen Ausbreitungsrechnung geben können. Als typisch für die nichtsorberenden Nuklide wird I-129 genommen. Dieses Nuklid weist eine der höchsten molaren Konzentrationen im Grubenabfluss auf und ist auch radioökologisch signifikant. Das langlebige Uran-Isotop U-238 bestimmt den Freisetzungsverlauf seiner radioökologisch signifikanten Töchternuklide (insbesondere Ra-226) und wird deshalb als repräsentativ für alle sorbierenden Nuklide betrachtet.

6 NUKLIDFREISETZUNG ENDLAGER-QUARTÄR

6.1 Nuklidfreisetzung aus dem Endlager

Für den Plan Konrad 9/86 wurde die Mobilisierung der eingelagerten Abfälle unter Berücksichtigung der Lebensdauer der Verfestigungsmatrix und der anderen technischen Barrieren, der Sorption an der Oberfläche der Materialien im Grubengebäude und der begrenzten Löslichkeit der Nuklide im Grundwasser berechnet. Eine Beschreibung des Modells ist in GSF (1986) gegeben. Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen sind die zeitabhängigen, nuklidspezifischen Aktivitätsflüsse aus dem Endlager in die Geosphäre.

Ein wichtiger Parameter des Modells ist der Wasserfluss durch den Endlagerbereich, welcher die Freisetzungsratesowie den Verlauf der Freisetzung der Nuklide bestimmt. Die Freisetzungsrates hängt für löslichkeitslimitierte Freisetzung streng, für nicht löslichkeitslimitierte Freisetzung ungefähr proportional vom Wasserfluss ab. Im Fall R49 beträgt dieser Wasserfluss 770 m³/a. Den im folgenden beschriebenen Transportrechnungen werden wie in den Rechenfällen R35 und R47 die für einen Wasserdurchfluss von 735 m³/a berechneten Aktivitätsfreisetzungsrates zugrunde gelegt (BfS 1990b). Damit wird vereinfachend die Abhängigkeit der Aktivitätsfreisetzung aus dem Endlager vom Grubendurchfluss vernachlässigt, die Freisetzungsrates unterschätzt und die Freisetzungsdauer überschätzt. Der Fehler, der durch die Vereinfachung entsteht, beträgt ca. 5% und ist im Prinzip nicht konservativ. Da die Dauer der Freisetzung aus dem Endlager jedoch kurz ist im Vergleich zur gesamte Transportzeit, ist schlussendlich nur das gesamte freigesetzte Inventar und nicht der Zeitverlauf der Freisetzung aus dem Endlager wesentlich.

Da im betrachteten Rechenfall R49 nur ein Teil des Grubendurchflusses entlang dem Schacht fließt, wird als Quellterm für die Modellrechnungen der Anteil der gesamten Aktivitätsfreisetzungsrates verwendet, welcher dem Verhältnis des Wasserflusses entlang dem Schacht Konrad 1 an der Basis der Unterkreide und des fallspezifischen gesamten Grubendurchflusses entspricht.

6.2 Definition der Transportparameter

Der postulierte Migrationsweg verläuft teilweise durch Kluftgesteine. Der Fliessweg führt entlang dem Schacht Konrad 1 durch Oxford, Kimmeridge, Unterkreide und Alb und tritt schliesslich in die Oberkreide über. Der Fliessweg verläuft entlang dem Schacht Konrad 1 in Unterkreide und Alb durch die Auflockerungszone und damit in einem porösen Medium.

Die hydraulischen Kennwerte des angenommenen Fliessweges sind in Tabelle 4-1 zusammengefasst. Diese für die Ausbreitungsrechnung bestimmenden Kennwerte wurden zum Teil schon in Teil A dieses Berichtes diskutiert und werden im folgenden ergänzend kommentiert.

Die berechnete Wasserfliesszeit entlang dem Schacht durch Oxford und Kimmeridge ist wegen der flachen Gradienten wenig belastbar. Zudem ist sie relativ kurz (rund 250 Jahre), so dass auch die Matrixdiffusion die Transportzeit der Radionuklide in diesen unteren Schichten im Vergleich zur Freisetzungsdauer nicht wesentlich verzögert. Es wird angenommen, dass das kontaminierte Wasser aus dem Grubengebäude ohne Zeitverzug und unverdünnt über den Schacht die Basis der Unterkreide erreicht. Somit wird die Strecke durch Oxford und Kimmeridge in der Nuklidmigrationsrechnung nicht berücksichtigt.

Aufgrund des Streubereichs der nutzbaren Porosität für Oxford, Kimmeridge und Oberkreide (0,1 - 22,5 %) wird eine Matrixporosität von 10 % für die drei Formationen angesetzt. Für die Schichten Unterkreide und Alb mit einem Streubereich von 8 - 30 % wird wie im Rechenfall R47 eine Matrixporosität von 15 % angenommen. Dieser Wert unterscheidet sich von dem in R35 verwendeten Wert von 20 %, wobei die Änderung in bezug auf die Wirkung der Matrixdiffusion konservativ ist.

Der Schacht Konrad 1 ist gemäss Verschlussvariante 4 bis zur Obergrenze Alb mit Ton verfüllt (vgl. Abschnitt 1.2.2), wobei die Tonverfüllung selbst undurchlässiger ist als die durch den Schachtverschluss ebenfalls abgedichtete Auflockerungszone. Der advektive Transport erfolgt also im porösen, tonigen Medium des Gesteins der Unterkreide und des Alb. Für die Fliess- und die Matrixporosität wird ein Wert von 0,15 angenommen.

Wie in PTB (1986a) wird für die Berechnung des Retentionsfaktors der Nuklide in allen Schichten eine mittlere Gesteinsdichte von 2600 kg/m^3 verwendet.

Die Modellierung der Nuklidausbreitung in der Oberkreide wurde schon in Abschnitt 4.3 diskutiert. In dieser Formation wird für die Strecke zwischen dem Schacht und dem Quartär die Abstandsgeschwindigkeit aufgrund der Grundwassergleichen im Quartär (= Gradient in der Oberkreide), dem k_f -Wert der Oberkreide und einer mittleren Kluftweite von 0,02 mm bei einem mittleren Kluftabstand von 0,1 mm festgelegt. Dies ergibt für den Schacht Konrad 1 eine horizontale Geschwindigkeit von 47,3 m/a. Unter der Annahme, dass der schräg ansteigende Wasserfluss durch die Oberkreide die derart bestimmte Horizontalkomponente aufweist,

beträgt die Fließzeit 7,94 Jahre für die 433 m lange Fließstrecke.

Während des Transportes durch das Kluftsystem dehnt sich eine Nuklidwolke als Folge der Dispersion längs der Ausbreitungsrichtung aus. Dabei muss zwischen der Dispersion längs der Ausbreitungsrichtung und quer dazu (horizontal und vertikal) unterschieden werden. Die entsprechenden Parameter, die Dispersionskonstanten (Dimension m^2/s), werden üblicherweise als Produkt der Abstandsgeschwindigkeit und der sogenannten Dispersionslänge (Dimension m) dargestellt. Der Quotient der Transportdistanz und der Dispersionslänge wird mit Peclet-Zahl bezeichnet.

Die Peclet-Zahl für die Dispersion in Richtung des Wasserflusses (Längsdispersion) wird aufgrund von Felddaten aus der Literatur auf 10 geschätzt (LEVER et al. 1988, GELHAR et al. 1985) und stimmt damit mit dem in PTB (1986a) und COLENCO (1990) verwendeten Wert überein.

Die Längsdispersion ist wesentlich grösser als die Dispersion quer zur Fließrichtung. Aufgrund von Feldbeobachtungen, welche allerdings vorwiegend in oberflächennahen Lockergesteinsschichten erfolgten, wird für das Verhältnis der Dispersionslänge in Stromrichtung zu jener quer dazu der Wert 100:1 angenommen. Als Peclet-Zahl für die (horizontale) Querdispersion wird also 1000 eingesetzt. Für die Peclet-Zahl der vertikalen Querdispersion wird ein Wert von 10 000 angenommen.

Für die Berechnung der Längsdispersion im Schacht kommt eine Peclet-Zahl von 20 zur Anwendung. In Fällen von geringen Abstandsgeschwindigkeiten und relativ kurzen Dispersionslängen ist die Dispersionskonstante klein und die molekulare Diffusion in Richtung der Advektion vermag einen merklichen Beitrag zum Radionuklidtransport zu leisten. Die gemeinsame Wirkung von hydraulischer Dispersion und molekularer Diffusion kann durch eine "effektive Dispersionslänge" $a_{L,eff}$ beschrieben werden, die der Gleichung

$$a_{L,eff} = a_L + D_m / v$$

| | |
|-------|---|
| a_L | Dispersionslänge der hydraulischen Dispersion |
| D_m | Porendiffusivität der molekularen Diffusion (siehe unten) |
| v | Abstandsgeschwindigkeit |

genügt. Im vorliegenden Fall unterscheiden sich die effektive Dispersionslänge und die Dispersionslänge der hydraulischen Dispersion um 1,1 m, d.h. um rund 4%.

Die Diffusion von Radionukliden aus den Klüften oder dem Schacht in die Gesteinsmatrix wird durch zwei Parameter quantifiziert: die Diffusionskonstante in der Matrix und die maximale Diffusionstiefe (Matrixtiefe).

Die Diffusion durch ein poröses, wassergesättigtes Medium wird durch die "effektive Diffusivität" D_e beschrieben:

$$D_e = \epsilon_m \cdot D_w / G = \epsilon_m \cdot D_m$$

Die effektive Diffusivität ist gegenüber der Diffusionskonstante im Wasser, D_w , um die Porosität ϵ_m und einen Faktor G , welcher die Geometrie der Poren beschreibt, reduziert.

Typische Werte für die sogenannten Porendiffusivität D_m sind $8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ für Granit mit einer Porosität von 0,25 % und $2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ für Bentonit mit einer Porosität von 41 % SKBF/KBS (1983). Für die Porendiffusivität wird für alle Gesteinstypen der Wert

$$D_m = 2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$$

angenommen.

Als Matrixtiefe wird für den Radionuklidtransport durch die Oberkreide der halbe mittlere Kluftabstand verwendet. Für die Matrixdiffusion aus dem Schacht in die Unterkreide und das Alb wird eine unbegrenzte Matrixtiefe angenommen. Aus numerischen Gründen muss ihr jedoch ein endlicher Wert zugewiesen werden; aufgrund von Testrechnungen wurde ein Wert von 400 m festgelegt.

Wegen der geringen Durchlässigkeit der tonigen Schachtverfüllung in den Schichten kru und Alb findet der advective Transport in der Auflockerungszone statt. Neben der Diffusion radial nach aussen in die Gesteinsmatrix dringen Radionuklide ebenfalls diffusiv in das praktisch stagnierende Porenwasser der Schachtverfüllung ein. Dieser Prozess, der einer zusätzlichen, wenn auch begrenzten Matrixdiffusion entspricht, bewirkt eine weitere Verzögerung des Transportes. Er wird allerdings in den folgenden Modellrechnungen zur Radionuklidenausbreitung vernachlässigt.

6.3 Sorptionsparameter

Die Nuklidfreisetzung aus dem Endlager bildet den Quellterm für den Nuklidtransport durch die Geosphäre. Unter der Annahme, dass sich der freigesetzte Aktivitätsfluss gleichmässig mit dem gesamten Grubenwasserdurchfluss mischt, ergeben sich die Nuklidkonzentrationen

onen im Porenwasser an der Grenze zwischen Endlager und Geosphäre.

Die Sorption der Radionuklide in der Matrix und im Schacht wird als lineare oder abschnittsweise lineare Gleichgewichtssorption modelliert. Wie im einleitenden Kapitel 5 erwähnt, werden Transportrechnungen nur für zwei repräsentative Nuklide durchgeführt.

Das Element Jod wird als nichtsorbidierend angenommen. Die Konzentrationen der Uranisotope ist für die Festlegung der Sorptionskonstanten (K_d -Werte) massgebend. Sie wird als Quotient der Freisetzungsrates (vgl. Kapitel 6.1) und des tatsächlichen Wasserflusses durch das Endlager gemäss der hydraulischen Modellrechnung (d.h. für R49: $770 \text{ m}^3/\text{a}$) ermittelt. Der K_d -Wert von Uran hängt nur von der Nuklidkonzentration ab. Für Uran ist die maximale Nuklidkonzentration im Grubenwasser geringer als 1% der in den K_d -Tabellen in PTB (1986b) aufgeführten Bezugskonzentration, so dass für alle Abschnitte des Fliessweges der jeweils grösste angegebene K_d -Wert verwendet werden kann. (Diese Bedingung ist auch erfüllt, falls die Urankonzentration mit dem Grubendurchfluss von $735 \text{ m}^3/\text{a}$ berechnet wird, der für die Modellierung der Uranfreisetzung aus dem Endlager Anwendung fand.) Die verwendeten K_d -Werte sind in Tabelle 4-2 aufgeführt.

6.4 Ergebnisse der Berechnung der Nuklidausbreitung mit RANCHMD

Die berechneten maximalen Aktivitätskonzentrationen der beiden repräsentativen Nuklide I-129 und U-238 sind in Tab. 6-1 zusammengestellt. Der zeitliche Verlauf der Konzentrationen an den verschiedenen Schichtgrenzen ist in Abbildung 6-1 dargestellt. Die dazugehörigen Zeitpunkte der maximalen Aktivitätskonzentrationen an ausgewählten Punkten der Fliesswege sind in Tab. 6-2 aufgeführt. (Der Unterschied der aufgeführten maximalen Nuklidkonzentrationen im Grubengebäude in den Rechenfällen R49 und R35 ist auf den Umstand zurückzuführen, dass in beiden Fällen die gleiche Freisetzungsrates aus dem Grubengebäude angenommen wird und die entsprechende Konzentration durch Division der Freisetzungsrates durch den fallspezifischen Grubendurchfluss ermittelt wird (vgl. Kapitel 6.1).)

6.4.1 Nuklidtransport durch Oxford und Kimmeridge

Die Wasserfliesszeit entlang dem Schacht Konrad 1 durch das Oxford und das Kimmeridge ist relativ kurz und auch die Matrixdiffusion vermag die Transportzeit im Vergleich zur Freisetzungsdauer nur unwesentlich zu verzögern. Es wird angenommen, dass das kontaminierte

Wasser aus dem Grubengebäude ohne Zeitverzug und unverdünnt entlang dem Schacht die Basis der Unterkreide erreicht.

6.4.2 Nuklidtransport durch Unterkreide und Alb

Die Matrixdiffusion radial aus dem Schacht verzögert die Freisetzung der Nuklide und reduziert deren maximale Konzentration.

Für das nichtsorberende I-129 ist die Konzentration im Schachtabfluss in die Oberkreide etwa um den Faktor $1,2 \cdot 10^8$ geringer als im Grubenwasser und erreicht ein Maximum nach $1,5 \cdot 10^6$ Jahren. Die maximale Konzentration von U-238 am Top des Alb liegt um den Faktor $1,2 \cdot 10^9$ unter der Konzentration im Grubenwasser und wird rechnerisch erst nach $4,5 \cdot 10^8$ Jahren erreicht.

In diesen Konzentrationsverminderungen ist die Verdünnung um den Faktor 12 durch den Zustrom von nicht kontaminiertem Wasser in den Schacht bereits enthalten.

Der Vergleich der Konzentrationswerte von R49 an der Basis der Oberkreide mit den entsprechenden Resultaten des Rechenfalls R35 zeigt, dass die Aktivitätskonzentration im Fall R49 um einen Faktor von etwa 5000 bis 9000 geringer ist, und dass das Auftreten der Konzentrationsmaxima zeitlich um einen Faktor 30-45 später erfolgt. Die Verdünnung durch zufließendes Wasser aus der Unterkreide und dem Alb ist wegen der konservativen Annahme einer geringeren Durchlässigkeit der Unterkreide geringer als im Rechenfall R35 (12 im Fall R49 gegenüber 16 im R35), wobei der Unterschied durch die reduzierte Schachttransmissivität und den daraus folgenden erhöhten relativen Beitrag des radialen Zuflusses verringert wird. Andererseits ist jedoch im Fall R49 die Wirkung der Matrixdiffusion aus dem Schacht wegen dem günstigeren Verhältnis Oberfläche/Volumen und wegen der längeren Verweilzeit der Nuklide im Schacht, deutlich stärker ausgeprägt.

6.4.3 Nuklidtransport durch die Oberkreide

Die Freisetzung der Nuklide an der Basis der Oberkreide erfolgt über einen so langen Zeitraum, dass die Matrix der Oberkreide relativ rasch gesättigt wird. Der Transport durch die Oberkreide bewirkt wie im Fall R35 keine Reduktion der Konzentration zusätzlich zur Verdünnung durch transversale Dispersion (Faktor 2,2).

6.4.4 Konzentrationen im Quartär

Die hydrodynamische Modellierung der Verhältnisse innerhalb und in der Nähe des Schachtes an der Basis der Oberkreide zeigt, dass aufgrund des grossräumigen horizontalen Gradienten in der Oberkreide das gesamte aus dem Schacht nach oben strömende Wasser innerhalb der untersten 1,7 m in diese Schicht abfließt (Abschnitt 4.3). Die Austrittsfläche des kontaminierten Wassers ins Quartär befindet sich damit etwa 400 m östlich des Schachtes Konrad 1 und weist eine durch laterale Dispersion des abströmenden Wassers verursachte maximale Breite von rund 60 m auf. Im Austrittsgebiet beträgt die Mächtigkeit des Quartärs rund 8 m, wovon jedoch nur etwa 1 m gesättigt ist und in der Verdünnungsrechnung im Quartär berücksichtigt wird. Der Wasserfluss durch diesen Querschnitt beträgt 0,106 l/min und ergibt einen Verdünnungsfaktor von 58 gegenüber der kontaminierten Fahne in der Oberkreide.

Die maximale Aktivitätskonzentration von I-129 im Quartär beträgt im Rechenfall R49 $5,62 \cdot 10^{-5}$ Bq/m³ und ist damit rund um den Faktor $1,5 \cdot 10^{10}$ geringer als im Grubengebäude. Das Konzentrationsmaximum tritt nach 1,5 Mio. Jahren auf.

Das sorbierende U-238 erreicht eine maximale Quartärkonzentration von $4,09 \cdot 10^{-7}$ Bq/m³, was einer Reduktion gegenüber der Konzentration im Grubengebäude um den Faktor $1,6 \cdot 10^{11}$ entspricht. Rechnerisch wird das Maximum nach 450 Mio. Jahren erreicht.

Der zeitliche Verlauf der Konzentrationen im Quartär ist in Abbildung 6-1 dargestellt.

Die hydraulischen Bedingungen im Bereich des Endlagers und insbesondere im verfüllten Schacht Konrad 1, die sich aus der vertieften Analyse der durch einen geeigneten Verschluss erreichbaren Durchlässigkeit der Schächte und ihrer Auflockerungszonen ergeben, führen für das Szenarium "Radionuklidfreisetzung entlang Schacht" auf Konzentrationen im Quartär, die gegenüber den bisherigen Modellrechnungen, insbesondere dem Rechenfall R35, um mehr als den Faktor 10^4 niedriger sind. Die Zeiten bis zum Auftreten der Maximalwerte sind mehr als zehnmals länger.

LITERATURVERZEICHNIS

BfS (1990a): Plan, Endlager für radioaktive Abfälle. Schachtanlage Konrad, Salzgitter. - Stand April 1990

BfS (1990b): Radionuklidfreisetzung aus dem Grubengebäude für eine Durchströmungsrate von 735 m³/a. - Bericht in Vorbereitung

COLENCO (1989/90): Schachtanlage Konrad, Salzgitter. Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell:

-- (1989a): Auswirkungen der bestehenden Tiefbohrungen. Band I: Textteil, Band II: Tabellen und Abbildungen. - 17.8.1989

-- (1989b): Rechnungen zum Schachtverschluss. - 17.8.-1989

-- (1990): Modellierung der Radionuklidausbreitung. Band I: Textteil, Band II: Tabellen und Abbildungen. - 11.1.1990

COLENCO (1991): Schachtanlage Konrad, Salzgitter. Durchführung von Parametervariationen. Einfluss der alten Tiefbohrungen, Rechenfall R47. - 3029/03, November 1991

GELHAR L.W., MANTOGLU A., WELTY C. & REHFELDT K.R. (1985): A Review of Field Scale Physical Solute Transport Processes in Saturated and Unsaturated Porous Media. - Research Project 2485-5, EPRI EA-4190, EPRI, Palo Alto, California

GSF (1986): Langzeitsicherheitsanalyse des Endlagers KONRAD: Radionuklidausbreitung in der Nachbetriebsphase. - TA Nr. 2242.03, November 1986

LEVER D.A., NOVAKOWSKI K.S., EVANS G.V. & RAVEN K.G. (1988): Hydrodynamic Dispersion in a single Fracture: Final Report on CRNL Experiment. - Commission of the European Communities, EUR 11454 EN

MOTOR COLUMBUS (1988): Schachtanlage Konrad, Salzgitter: Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell, Schlussbericht. 15. November 1988

PTB (1986a): Plan, Endlager für radioaktive Abfälle. Schachtanlage Konrad, Salzgitter. - Stand September 1986

PTB (1986b): Ableitung von Sorptionsdaten aus experimentellen Untersuchungen. - PTB-SE-IB-7, November 1986

SKBF/KBS (1983): Final Storage of Spent Nuclear Fuel.
- KBS-3, Vol. III Barriers, SKBF Stockholm

WITTKE W. (1991a): Endlager Konrad, Schachtverfüllung/Alte Bohrungen. Bericht Teil E: Nachweis der Dichtigkeit alter Bohrungen. - 31.5.1991 (Vorabzug)

WITTKE W. (1991b): Endlager Konrad, Schachtverfüllung / Alte Bohrungen. Bericht Teil D: Nachweis der Machbarkeit der Schachtverfüllung (Mineralische Abdichtung und Stützsäule). - August 1991, Entwurf

| Schichteinheit | Verschlussvariante | | | |
|----------------|--------------------|---------|---------|---------|
| | V1 | V2 | V3 | V4 |
| q / kro | Asphalt | Asphalt | Asphalt | Asphalt |
| alb | | | Ton | Ton |
| kru | Beton | Ton | | |
| jo | | | | |
| ox | | | | |

Tabelle 1-1

Schächte Konrad 1 und Konrad 2. Lage der Grenzen der Verschlussmedien in den Verschlussvarianten 1 bis 4

| | | | |
|---|----------|---------------------|---------------------|
| Modell147 | | Schacht Konrad 1 | Schacht Konrad 2 |
| Anpassung an revidiertes Bohrprofil | | angepasst | nicht angepasst |
| | | BfS (1990a) | BfS (1990a) |
| Schichtmächtigkeit: | | | |
| q | [m] | 3,5 | 36 |
| kro | [m] | 225,5 | 209,8 |
| Alb | [m] | 271 | 222,9 |
| Hils | [m] | -- | 1,35 |
| kru | [m] | 299,8 | 175,45 |
| Höhe NN | [m ü.M.] | 98,5 | 90,25 |
| Kote Grundwasser- spiegel | [m ü.M.] | 87 | 84,5 |
| Gesättigte Mächtigkeit am Ort des Schachtes: | | | |
| q | [m] | < 1 | 30,25 |
| kro | [m] | 217,5 | 209,8 |

Tabelle 1-2 Mächtigkeit der Deckschichten in den Schächten
Konrad 1 und Konrad 2 (nach BfS 1990a)

| | | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Rechenfaelle | R34 | R35 | R38 | R47 |
| Bezeichnung der Faelle | (3) | (4) | | R49 |

1. DURCHLAESSIGKEITEN

| K-Klasse bez. | Kurz- bezeichnung | Effektive Porositaet, [%] | Durchlaessigkeit [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | |
|---------------|----------------------|--|---------------------------|------------------|-------|-------|---|
| 10 | q | Quartaer | 25 | 1E-5 | x | x | x |
| 20 | t | Tertiaer | 25 | 1E-7 | x | x | x |
| 30 | k | Emscher Mergel | 20 | 1E-8 | x | x | x |
| 40 | kro-N | Plaenerkalke, Nordabschnitt | 5 | 1E-6 | x | x | x |
| 140 | kro-S | Plaenerkalke, Suedabschnitt | 5 | 1E-7 | x | x | x |
| 50 | alb | Alb | 10 | 1E-12 | x | x | x |
| 60 | H1 | Hilssandstein | 25 | 1E-5 | x | x | x |
| 70 | kru | Hauterive, Barreme, Apt (= Unterkreide) | 10 | 1E-11 | x | x | x |
| 80 | jo | Muender Mergel, Kimmeridge, Wealden (= Oberjura) | 10 | 5E-9 | x | x | x |
| 90 | ox | Oxford | 2 | 1E-8 | x | x | x |
| 160 | | Grubengebäude | 10 | 1E-4 | x | x | x |
| 200 | D | Doggeronsteine | 10 | 1E-10, 1E-12 (2) | x | x | x |
| 100 | C-N | Cornbrash-Sandstein, Nordabschnitt | 5 | 1E-6 | x | x | x |
| 130 | C-S | Cornbrash-Sandstein, Suedabschnitt | 5 | 1E-7 | x | x | x |
| 400 | L | Liastonsteine | 10 | 1E-10, 1E-12 (2) | x | x | x |
| 110 | ko | Rhaet | 20 | 1E-7 | x | x | x |
| 600 | K | Keupertonsteine | 10 | 1E-10, 1E-12 (2) | x | x | x |
| 120 | mo | Oberer Muschelkalk | 2 | 1E-7 | x | x | x |
| 170 | z | Salzstöcke | 10 | 1E-15 | x | x | x |

2. MULTIPLIKATIONSFAKTOREN

| K-Index | Kurz- bezeichnung | Faktoren, um den die Durchlaessigkeiten der Schicht- einheiten im Wirkungsbereich der Stoerungszonen ver- groessert werden (mit Ausnahme von Alb, Hilssandstein und Rhaet) | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | |
|----------|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|---|
| 1 | a | immediärer Stoerung | 50 | x | x | x | |
| 2 | b(b) | Salzstockflanke Broistedt-Wendeburg-Rolfsbuettel | 25 | x | x | x | |
| 3 | b(t) | Salzstockflanke Thiede | 25 | x | x | x | |
| 3 | b(f) | Salzstockflanke Flachstoeckheim | 25 | x | x | x | |
| 4 | c | Konrad-Graben | 10 | x | x | x | |
| 6 | d | Stoerungen suedlich des Konrad-Grabens | 10 | x | x | x | |
| 5 | e | Überschiebung von Meine | 50 | x | x | x | |
| 7 | f | vergitterungszonen beiderseits des Konrad-Grabens | 60 | x | x | x | |
| 8 | h | Stoerungszone Salzgitter Hoehenzug | 25 | x | x | x | |
| 9 | 1,k | Stoerungszonen noerdlich an jene des Salzgitter Hoehenzuges anschliessend | 25 | x | x | x | |
| K-Klasse | | Effektive Porositaet, [%] | | | | | |
| 150 | g | Lokale Verkarstung im obersten Oberjura | 10 | 10 | x | x | x |

3. RANDBEDINGUNGEN

| | | | | |
|--|-----------------------|---|---|---|
| Fluesse an den Seitenflaechen und am Modellboden | No flow | x | x | x |
| Bergwasserspiegel im Salzgitter-Hoehenzug | Terrainoberflaechen | x | x | x |
| Grundwasserspiegel im uebrigen Modell-Gebiet | Grundwassergleichen | x | x | x |
| Potential im Grubengebäude | gemass Modellrechnung | x | x | x |

Bemerkungen

- (1) x = Wert des Referenzfalles
- (2) Wenn zwei Durchlaessigkeitswerte angefuehrt sind, so steht der erste Wert fuer die schichtparallele, der zweite Wert f}r die schichtnormale Durchlaessigkeit
- (3) Referenzfall "alte Bohrungen"
- (4) Referenzfall "Schichtverschluss"

R E C H E N F Ä L L E R47 UND R49

| | Effektive Porosität | K-Klasse | Quer- Schnitt | K | T |
|--|------------------------|----------|-------------------|-------|---------------------|
| | [%] | | [m ²] | [m/s] | [m ³ /s] |
| <hr/> | | | | | |
| 4. EINDIMENSIONALE ELEMENTE (Bohrungen, Strecke, Schächte) | | | | | |
| STRECKEN | | | | | |
| Nordstrecke | 10 | 180 | 10 | 1E-04 | 1E-03 |
| Doggerstrecke D von Schacht Konrad 2 (1) | 10 | 190 | 100 | 1E-04 | 1E-02 |
| BOHRUNGEN | | | | | |
| vgl. Tabelle 2-2, Seite 2 | 10 | 900 | - | - | 5E-04 |
| | 10 | 901 | - | - | 3E-04 |
| | 10 | 902 | - | - | 2E-04 |
| | 10 | 903 | - | - | 1.5E-04 |
| | 10 | 904 | - | - | 1E-04 |
| | 10 | 905 | - | - | 9E-05 |
| | 10 | 906 | - | - | 8E-05 |
| | 10 | 907 | - | - | 7E-05 |
| | 10 | 908 | - | - | 6E-05 |
| | 10 | 909 | - | - | 5E-05 |
| | 10 | 910 | - | - | 2E-05 |
| | 10 | 911 | - | - | 4E-08 |
| | 10 | 912 | - | - | 2E-08 |
| | 10 | 913 | - | - | 7E-09 |
| | 10 | 914 | - | - | 5E-09 |
| | 10 | 915 | - | - | 4E-09 |
| | 10 | 916 | - | - | 3E-09 |
| | 10 | 917 | - | - | 2E-09 |
| | 10 | 918 | - | - | 1E-09 |
| | 10 | 919 | - | - | 5E-10 |
| | 10 | 920 | - | - | 8E-09 |
| | 10 | 921 | - | - | 9E-09 |

(1) Die Doggerstrecken A, B und C sind nicht modelliert. Die Doggerstrecke D wird angenähert berücksichtigt durch ein von der Basis des Grubengebäudes bis zum Cornbrash-Sandstein reichendes 1D-Element entlang dem Schacht Konrad 2

RECHENFÄLLE R47 UND R49

| Transmissivität in m ³ /s | | B81 Hallen- dorf 1 | B70 Blecken- stedt 2 | K101 Konrad 101 | B71 Blecken- stedt 3 | B79 Broi- stedt 33 | B80 Broi- stedt 34 | B28 Blecken- stedt 4 | B67 Blecken- stedt 1 | B321 Hütten- berg 1 |
|--------------------------------------|-----|--------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Quartär | q | 7E-05 (5) | 1E-04 | 2E-04 | 1E-04 | 5E-04 | 2E-04 | 1E-04 | 1E-04 | 1E-04 |
| Oberkreide | kro | 8E-05 | 5E-05 | 2E-04 | 8E-05 | - | 2E-04 | 5E-05 | 2E-09 | 1E-04 |
| Alb | Alb | 5E-09 | 2E-09 | 9E-05 | 2E-09 | 4E-09 | 7E-09 | 2E-09 | 2E-09 | 4E-09 |
| Hilssandstein | Hl | 5E-09 | 2E-09 | 9E-05 | 2E-09 | - | - | - | - | 4E-09 |
| Unterkreide (1) | kru | 5E-09 | 3E-09 | 5E-05 | 4E-09 | 4E-09 | 5E-09 | 4E-09 | 2E-05 | 4E-09 |
| Oberjura (2) | jo | 1E-09 | 5E-10 | - (4) | | | 5E-10 | 1E-09 | 5E-10 | 5E-10 |
| Oxford | ox | 5E-10 | 5E-10 | 5E-05 | | | 5E-10 | 5E-10 | 5E-10 | 5E-10 |
| Doggertonsteine | D | | | 8E-05 | | | 1E-09 | | 1E-09 | 1E-09 |
| Cornbrash-Sandstein | C | | | 8E-05 | | | | | | |

| Transmissivität in m ³ /s | | B320 Sauingen 2 | B30 Sauingen 1 | B183 Alvesse 1 | B100 Uefingen 1 | B166 Uefingen 2 | B315 Wierthe 1 | B303 Sonnen- berg 4 | B107 Vecheide 3 | B106 Vecheide 2/2a |
|--------------------------------------|-----|-----------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Quartär | q | 6E-05 | 6E-05 | 1E-04 | 2E-09 | 7E-05 | 7E-05 | 1E-04 | 7E-05 | 2E-04 |
| Oberkreide | kro | 6E-05 | 6E-05 | - | 2E-09 | 5E-05 | - | - | - | - |
| Alb | Alb | 4E-09 | 4E-09 | 4E-09 | 3E-09 | 3E-09 | 4E-09 | 4E-09 | 9E-05 | 9E-09 (3) |
| Hilssandstein | Hl | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Unterkreide (1) | kru | 4E-09 | 4E-09 | 5E-09 | 7E-09 | 4E-09 | 4E-09 | 4E-09 | 4E-08 | 9E-09 |
| Oberjura (2) | jo | 5E-10 | 1E-09 | 1E-09 | 1E-09 | 5E-10 | 1E-09 | 5E-10 | 3E-09 | 1E-09 |
| Oxford | ox | 5E-10 | 1E-09 | 5E-10 | 1E-09 | 5E-10 | 1E-09 | 5E-10 | 7E-05 | 5E-10 |
| Doggertonsteine | D | | | | | | | | 1E-09 | 2E-09 |
| Cornbrash-Sandstein | C | | | | | | | | 1E-09 | - |
| Liastonsteine | L | | | | | | | | 1E-09 | 1E-09 |
| Rhät | ko | | | | | | | | 1E-09 | 1E-09 |
| Keupertonsteine | K | | | | | | | | | 1E-09 |

(1) Hauterive, Barreme, Apt

(2) Münders Mergel, Kimmeridge, Wealden

(3) Im Modell 147 2 m Alb

(4) In Bohrung 8.4 m jo

(5) Transmissivität in m³/s

| Geol. Einheit | Poros. [%] | T [m ³ /s] | k _f [m/s] | R ₀ ⁽¹⁾ [m] | Fläche [m ²] | R _A [m] |
|---------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|
| R35, R47 | | | | | | |
| q, kro | 10 | 2,3·10 ⁻² | 1·10 ⁻⁴ | - | 230 | 8,5 |
| Alb | 10 | 2,3·10 ⁻⁶ | 1·10 ⁻⁸ | - | 230 | 8,5 |
| kru | 10 | 2,3·10 ⁻⁶ | 1·10 ⁻⁸ | - | 230 | 8,5 |
| jo, ox | 10 | 2,3·10 ⁻² | 1·10 ⁻⁴ | - | 230 | 8,5 |
| Dogger | 10 | 1·10 ⁻² | 1·10 ⁻⁴ | - | 100 | - |
| R49 | | | | | | |
| q, kro | 30 | 230 | 1 | - | 230 | 8,5 |
| Alb | 15 | 3,2·10 ⁻⁷ | 2,91·10 ⁻⁹ | 5,0 | 110 | 7,75 |
| kru | 15 | 1,4·10 ⁻⁷ | 1,27·10 ⁻⁹ | 5,0 | 110 | 7,75 |
| jo, ox | 10 | 2,3·10 ⁻² | 1·10 ⁻⁴ | - | 230 | 8,5 |
| Dogger | 10 | 1·10 ⁻² | 1·10 ⁻⁴ | - | 100 | - |

⁽¹⁾ Radius der inneren, undurchlässigen Zone (= Schachtverfüllung mit k_f-Wert 1·10⁻¹⁰ m/s)

Porositäten, Durchlässigkeiten k_f [m/s] der Auflockerungszone und der Schachtverfüllung und Transmissivitäten T [m³/s] der 1D-Schachtelemente. Verschlussvariante 4: Grenze Asphalt/Ton bei Top Alb, Haufwerk in ox, jo und Dogger.

Tabelle 2-3 Parameter: Eindimensionale Elemente (Schächte)

Schacht und Auflockerungszone:

Radius: 8.5 m m

Querschnitt: 230 m² m²

| Schicht | Knoten | z NN | Potential | Mächtigkeit | Grad.(z) | K-Klasse | T | kf | Porosität | |
|---------|--------|-------|-----------|-------------|------------|---------------|-----------------------------|----------|-----------|------|
| | Nr. | m NN | m NN | m | (1) m/m | Modell Nr. | Modell m ² /s | m/s | | |
| Alb | Top | 25540 | -129.00 | 87.0000 | 135.5 Alb | 4.2E-02 | 953 | 3.20E-07 | 2.91E-09 | 0.15 |
| | Mid | 27540 | -264.50 | 92.6804 | 135.5 Alb | 4.2E-02 | 953 | 3.20E-07 | 2.91E-09 | 0.15 |
| kru-1 | Top | 29540 | -400.00 | 98.4119 | 99.9 kru | 2.2E-02 | 955 | 1.40E-07 | 1.27E-09 | 0.15 |
| | Mid | 39540 | -499.94 | 100.5691 | 99.9 kru | 2.4E-02 | 955 | 1.40E-07 | 1.27E-09 | 0.15 |
| kru-2 | Top | 41540 | -599.89 | 102.9472 | 50.0 kru | 6.1E-03 | 955 | 1.40E-07 | 1.27E-09 | 0.15 |
| | Mid | 43540 | -649.84 | 103.2520 | 50.0 kru | 7.8E-03 | 955 | 1.40E-07 | 1.27E-09 | 0.15 |
| jo | Top | 45540 | -699.80 | 103.6392 | | | | | | |

Bemerkungen:

(1) + aufwärtsgerichteter Fluss

- abwärtsgerichteter Fluss

Tabelle 3-1 Rechenfall R49: Potentiale im Schacht Konrad 1
in Unterkreide und Alb

| Rechenfall | Durchfluss durch das Grubengebäude | | Fehlermass | davon Fluss durch: | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------|--------------------|----------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | l/min | m ³ /a | | % | Nordstrecke l/min | Doggerstrecke l/min | Schacht K1 l/min | Schacht K2 l/min | Bohrung 81 l/min | Bohrung 28 l/min |
| REFERENZFAELLE OHNE SCHÄCHTE: | | | | | | | | | | |
| R16 | 1,4 | 740 | 7 | -0,04 | 0,43 | -- | -- | -- | -- | -- |
| R34 | 1,2 | 630 | 3 | -0,03 | 0,23 | -- | -- | -- | -- | -- |
| VERSCHLUSSVARIANTE 4: | | | | | | | | | | |
| R35 | 1,22 | 640 | 2 | -0,03 | 0,23 | -0,13 | 0,01 | -- | -- | -- |
| R47 | 1,46 | 770 | 14 | -0,03 | 0,77 | -0,12 | 0,01 | 0,015 | 0,002 | 0,000 |
| R49 | 1,46 | 770 | 14 | -0,03 | 0,77 | -0,12 | 0,001 | 0,014 | 0,002 | 0,000 |

+ Zufluss, - Abfluss

Tabelle 3-2 Durchflüsse durch das Grubengebäude inkl. Flüsse entlang Schächten und Strecken

| Schichteinheit | A l b | | Unterkreide | | D o g g e r | | L i a s | | K e u p e r | |
|----------------|-------|------------|-------------|------------|-------------|------------|---------|------------|-------------|------------|
| Rechenfall | R35 | R47 R49 | R35 | R47 R49 | R35 | R47 R49 | R35 | R47 R49 | R35 | R47 R49 |
| Bohrungen: | | | | | | | | | | |
| 81 | 1.69 | 0.021 | -0.002 | -0.018 | | | | | | |
| 70 | 0.002 | 0.007 | -2E-04 | -0.003 | | | | | | |
| K101 | 0.001 | 320 | -7E-05 | -46.7 | -1E-05 | 0.94 | | | | |
| 71 | 0.92 | 0.005 | 0.001 | - | | | | | | |
| 79 | 0.89 | 0.010 | -0.07 | -3E-04 | | | | | | |
| 80 | 1.01 | 0.019 | -0.21 | -0.003 | 1E-04 | 3E-04 | | | | |
| 28 | 0.50 | 0.008 | 0.001 | -0.005 | | | | | | |
| 67 | 0.73 | 0.005 | 0.06 | 0.27 | 2E-05 | 1E-04 | | | | |
| 321 | 1.13 | 0.012 | -0.29 | -0.006 | 6E-05 | 5E-04 | | | | |
| 320 | 0.72 | 0.007 | 0.07 | 0.001 | | | | | | |
| 30 | 0.95 | 0.011 | -0.02 | -7E-04 | | | | | | |
| 183 | 0.81 | 0.008 | 0.28 | 0.001 | | | | | | |
| 100 | 1.66 | 0.007 | 0.54 | 0.002 | | | | | | |
| 166 | 0.91 | 0.007 | 4E-04 | 0.001 | | | | | | |
| 315 | - | 0.010 | - | 8E-04 | | | | | | |
| 303 | - | 0.012 | - | 0.001 | | | | | | |
| 106-107-111 | 33.7 | - | 1.33 | - | -0.003 | | 0.009 | | 0.012 | |
| 106 | - | - | - | 0.010 | | -7E-04 | | 0.001 | | 0.003 |
| 107 | - | 3.78 | - | 0.07 | | -6E-04 | | 0.002 | | |

BEMERKUNGEN

+ aufwärtsgerichtete Flüsse

- abwärtsgerichtete Flüsse

Flüsse in m³/a

1 l/min = 525 m³/a, 1000 m³/a = 1.9 l/min

Tab. 3-3 Rechenfälle R35, R47 und R49: Flüsse entlang den Bohrungen (Schichtmitte) in m³/a

| Rechenfall | kro | Alb | kru | jo | ox |
|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| VERSCHLUSSVARIANTE 1 | | | | | |
| SCHACHT KONRAD 1 | | | | | |
| R35 | -2,81 | $6,5 \cdot 10^{-3}$ | $2,1 \cdot 10^{-3}$ | $6,2 \cdot 10^{-2}$ | 0,12 |
| R47 * | -0,29 * | $4,7 \cdot 10^{-3}$ | $3,3 \cdot 10^{-3}$ | $6,2 \cdot 10^{-2}$ | 0,11 |
| R49 | -0,42 | $8,1 \cdot 10^{-4}$ | $1,3 \cdot 10^{-4}$ | $5,9 \cdot 10^{-2}$ | 0,11 |
| SCHACHT KONRAD 2 | | | | | |
| R35 | $-2,2 \cdot 10^{-2}$ | $1,7 \cdot 10^{-2}$ | $-6,0 \cdot 10^{-3}$ | $-1,3 \cdot 10^{-2}$ | $-1,0 \cdot 10^{-2}$ |
| R47 | $-2,9 \cdot 10^{-2}$ | $1,7 \cdot 10^{-2}$ | $-8,7 \cdot 10^{-3}$ | $-1,0 \cdot 10^{-2}$ | $-8,5 \cdot 10^{-3}$ |
| R49 | $-8,3 \cdot 10^{-2}$ | $2,4 \cdot 10^{-3}$ | $-5,3 \cdot 10^{-4}$ | $-2,6 \cdot 10^{-3}$ | $-1,0 \cdot 10^{-3}$ |

- + aufwärtsgerichteter Fluss
- abwärtsgerichteter Fluss

* Anpassung Schacht Konrad 1 an revidiertes Profil

Tabelle 3-4 Wasserflüsse (l/min) entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (in Schichtmitte)

SCHACHT K1

| | | |
|--|---------------------|----------|
| Grubendurchfluss | [m ³ /a] | 770 |
| | [l/min] | 1.46 |
| OXFORD-KIMMERIDGE | | |
| Fliesszeit | [a] | 0 |
| Verdünnungsfaktor | [-] | 1 |
| UNTERKREIDE UND ALB IM SCHACHT | | |
| Fluss an Basis Unterkreide | [l/min] | 6.50E-05 |
| Fluss an Top Alb | [l/min] | 8.05E-04 |
| Fliessdistanz | [m] | 571 |
| Fliessquerschnitt | [m ²] | 110 |
| Fliessporosität | [-] | 0.15 |
| Mittlere Abstandsgeschwindigkeit | [m/a] | 0.0058 |
| Fliesszeit | [a] | 98400 |
| Verdünnungsfaktor (ohne Rundung) | [-] | 12.38 |
| Verdünnungsfaktor (gerundet) | [-] | 12 |
| OBERKREIDE | | |
| Mächtigkeit | [m] | 217.5 |
| Durchmesser Schacht | [m] | 17 |
| Fliessquerschnitt Schacht | [m ²] | 230 |
| Fliessporosität im Schacht | [-] | 0.3 |
| Fliessdistanz ab Basis kro | [m] | 435 |
| Fliessdistanz in Fahnenmitte | [m] | 433.3 |
| Mächtigkeit der Fahne | [m] | 1.7 |
| Breite der Fahne | [m] | 59 |
| Gradient ausserhalb Bohrung | [-] | 0.003 |
| Fluss | [l/min] | 1.81E-03 |
| Fliessporosität in Oberkreide | [-] | 0.0002 |
| horizontale Abstandsgeschwindigkeit | [m/a] | 47.3 |
| Abstandsgeschwindigkeit Fliessweg | [m/a] | 54.6 |
| Fliesszeit | [a] | 7.94 |
| Verdünnungsfaktor (ohne Rundung) | [-] | 2.25 |
| Verdünnungsfaktor (gerundet) | [-] | 2.2 |
| QUARTÄR | | |
| gesättigte Mächtigkeit q am Ort des geschätzten Austrittes | [m] | 1 |
| Breite der Fahne in q | [m] | 59 |
| Gradient in q | [-] | 0.003 |
| Fluss im Quartär | [l/min] | 1.06E-01 |
| | [l/d] | 153 |
| Verdünnungsfaktor (ohne Rundung) | [-] | 58.6 |
| Verdünnungsfaktor (gerundet) | [-] | 58 |
| GRUBENGEBÄUDE BIS QUARTÄR | | |
| gesamter Verdünnungsfaktor (ohne Rundung) | [-] | 1630.8 |
| gesamter Verdünnungsfaktor (mit Rundung) | [-] | 1531 |

Tabelle 4-1 Rechenfall R49. Hydraulische Kennwerte des Fliessweges durch den Schacht Konrad 1

| | | kru/Alb | kro | q |
|--|----------------------|---------------------|---------------------|----|
| Schachtdurchmesser: | | | 17,0 | |
| - Schachtverfüllung [m] | | 10,0 | | |
| - Schachtverfüllung und Auflockerungszone [m] | | 15,5 | | |
| Fliessquerschnitt | [m ²] | 110 (AZ)* | 230 | |
| Kluftweite | [mm] | -- | 0,02 | |
| Kluftabstand | [m] | -- | 0,1 | |
| Matrixtiefe | [m] | 400 | 0,05 | |
| Fliess-/Kluftporosität | [-] | 0,15 | 0,0002 | |
| Matrixporosität | [-] | 0,15 | 0,1 | |
| Effektive Diffusivität | [m ² /s] | 3·10 ⁻¹¹ | 2·10 ⁻¹¹ | |
| Fliessdistanz | [m] | 571 | 433 | |
| Abstandsgeschwindigkeit | [m/a] | 0,0058 | 54,6 | |
| Dispersionslänge | [m] | 29,6** | 43,5 | |
| Sorptionskonstante K _d für U-238 | [m ³ /kg] | 0,02 | 0,0026 | |
| Sorptionskonstante K _d für I-129 | [m ³ /kg] | 0,0 | 0,0 | |
| Verdünnung | [-] | 12 | 2,2 | 58 |

* AZ = Auflockerungszone

** effektive Dispersionslänge (vgl. Abschnitt 6.2)

Tabelle 4-2 Rechenfall R49. Parameter der Transportrechnung des Fliessweges durch den Schacht Konrad 1

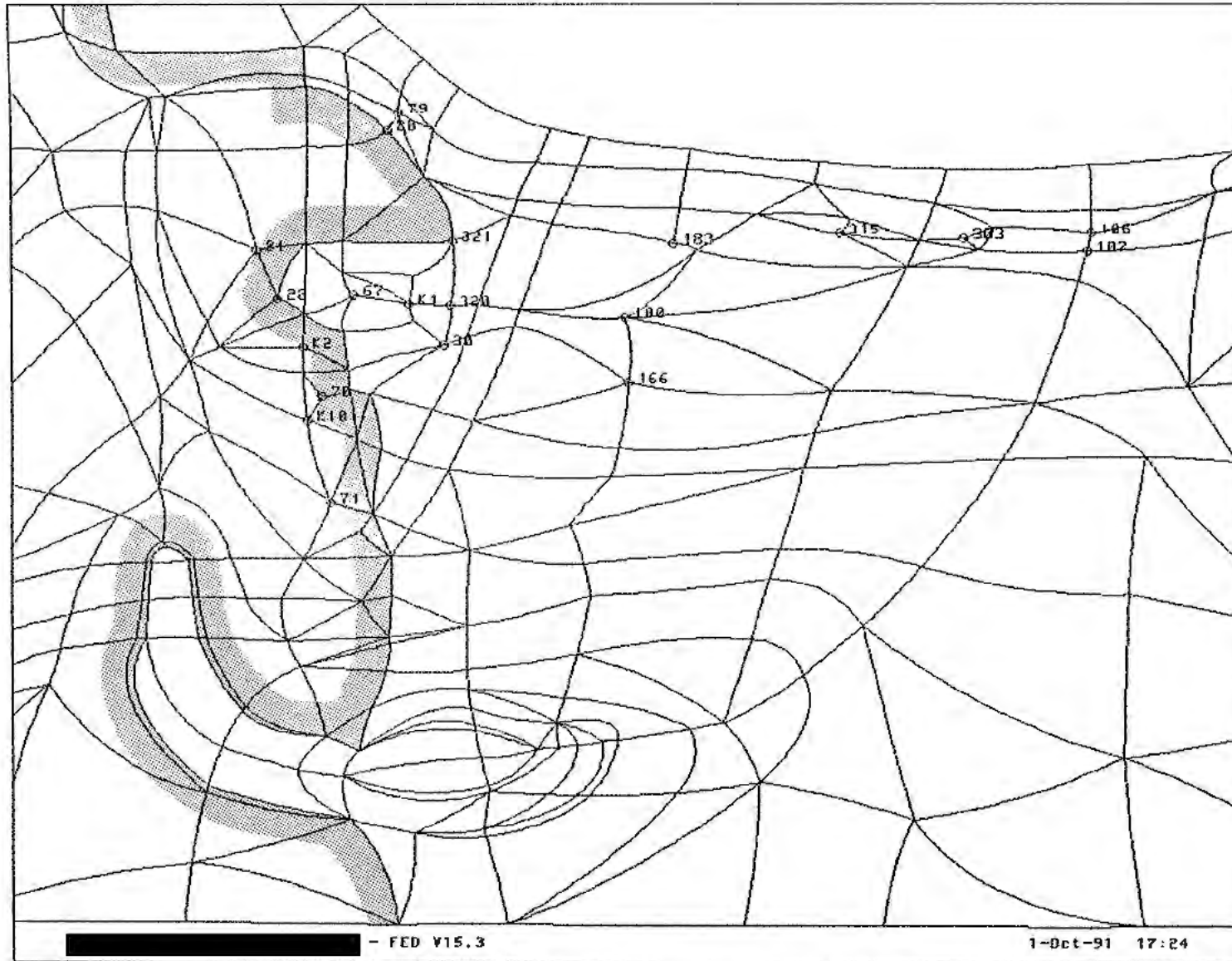
| | RECHENFALL R49 | | RECHENFALL R35 | |
|---------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| | I-129 | U-238 | I-129 | U-238 |
| | Konzentration Bq/m ³ | | Konzentration Bq/m ³ | |
| Grube | $8,72 \cdot 10^5$ | $6,39 \cdot 10^4$ | $1,05 \cdot 10^6$ | $7,69 \cdot 10^4$ |
| Top Alb | $7,18 \cdot 10^{-3}$ | $5,21 \cdot 10^{-5}$ | $3,56 \cdot 10^1$ | $4,62 \cdot 10^{-1}$ |
| Top kro | $3,26 \cdot 10^{-3}$ | $2,37 \cdot 10^{-5}$ | $1,97 \cdot 10^1$ | $2,56 \cdot 10^{-1}$ |
| Quartär | $5,62 \cdot 10^{-5}$ | $4,09 \cdot 10^{-7}$ | 1,97 | $2,56 \cdot 10^{-2}$ |

Tab. 6-1 Maximale Aktivitätskonzentrationen [Bq/m³] an ausgewählten Punkten des Fließweges durch den Schacht Konrad 1 in den Rechenfällen R49 und R35.

| | RECHENFALL R49 | |
|---------|-------------------|-------------------|
| | I-129 | U-238 |
| Grube | $3,63 \cdot 10^1$ | $6,46 \cdot 10^2$ |
| Top Alb | $1,50 \cdot 10^6$ | $4,50 \cdot 10^8$ |
| Top kro | $1,50 \cdot 10^6$ | $4,50 \cdot 10^8$ |

Tab. 6-2 Rechenfall R49. Zeitpunkt [a] der maximalen Aktivitätskonzentrationen an ausgewählten Punkten des Ausbreitungsweges durch den Schacht Konrad 1

r47g.xyz q.el bohr.topo 90/90



o modellierte Bohrung

▨ nördliche Verbreitungsgrenze des Hilssandstein

Abb. 1-1 Rechenfall R47 (Modell147): Oberflächen-Elementnetz mit Verbreitungsgrenze des Hilssandstein und modellierten Bohrungen und Schächten

r47g.xyz cut398.e1 77/0

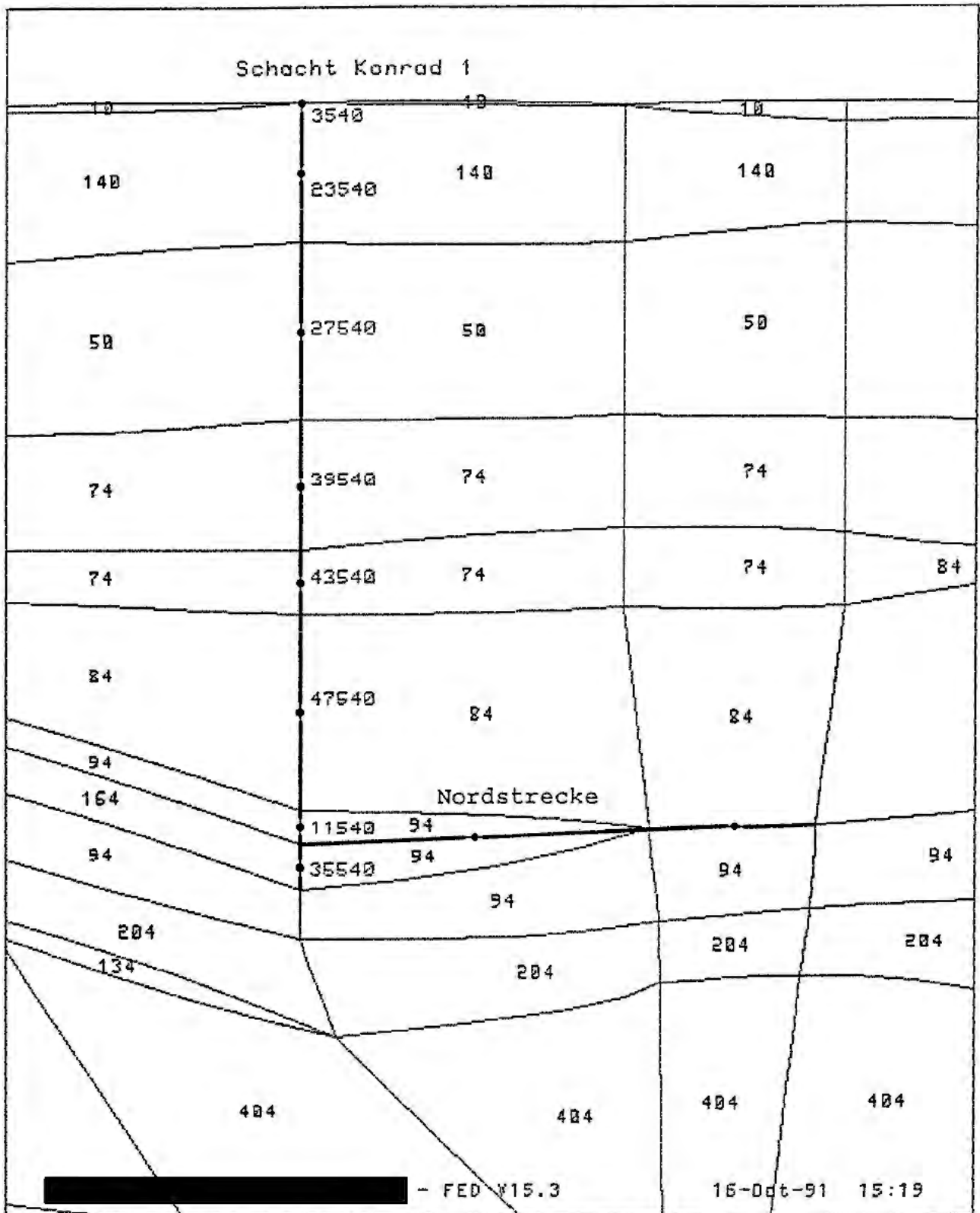


Abb. 1-2

Modellierung des Schachtes Konrad 1 und der Nordstrecke

r47g.xyz cut621.e1 100/0

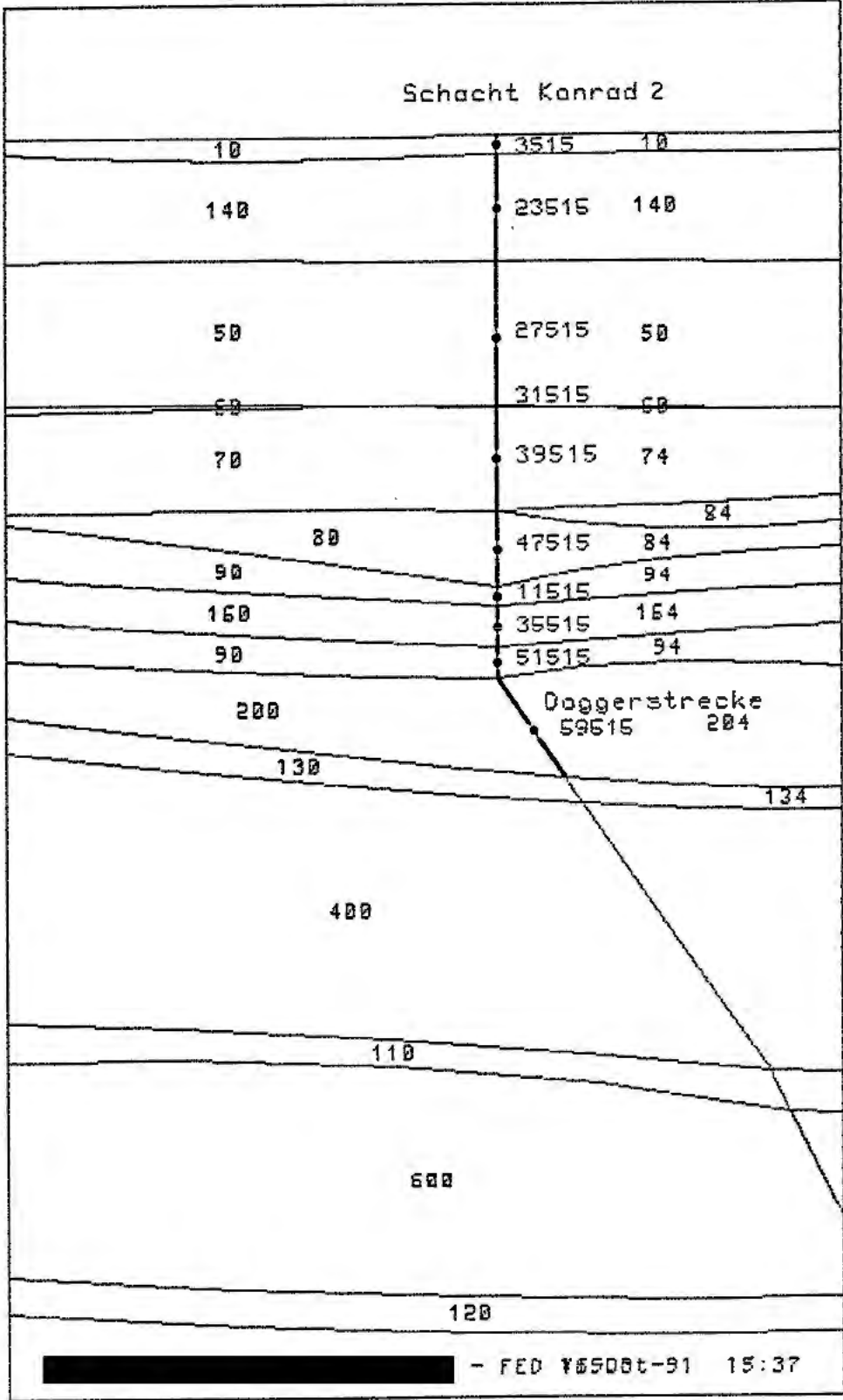
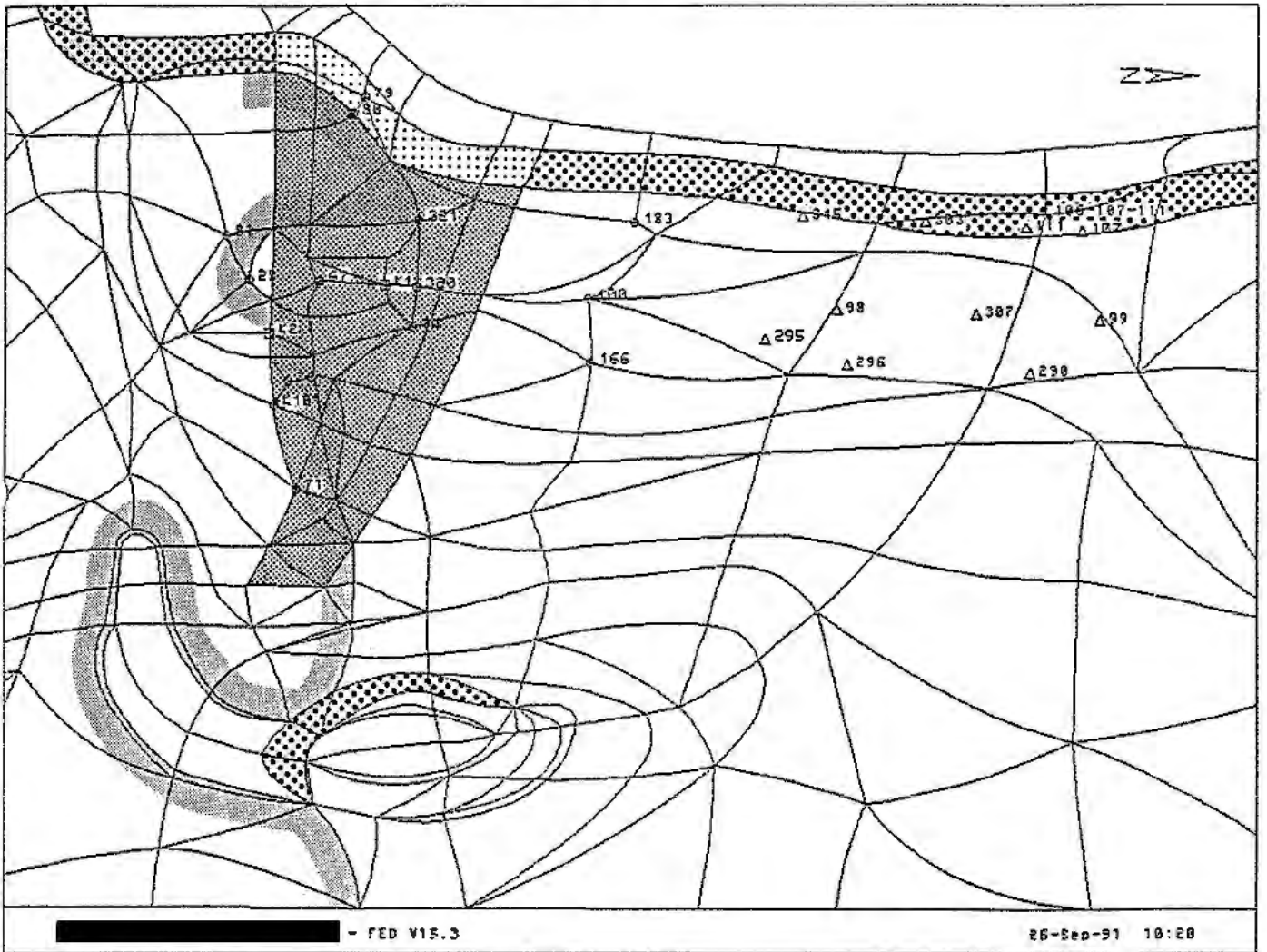


Abb. 1-3 Modellierung des Schachtes Konrad 2 und der Doggerstrecke

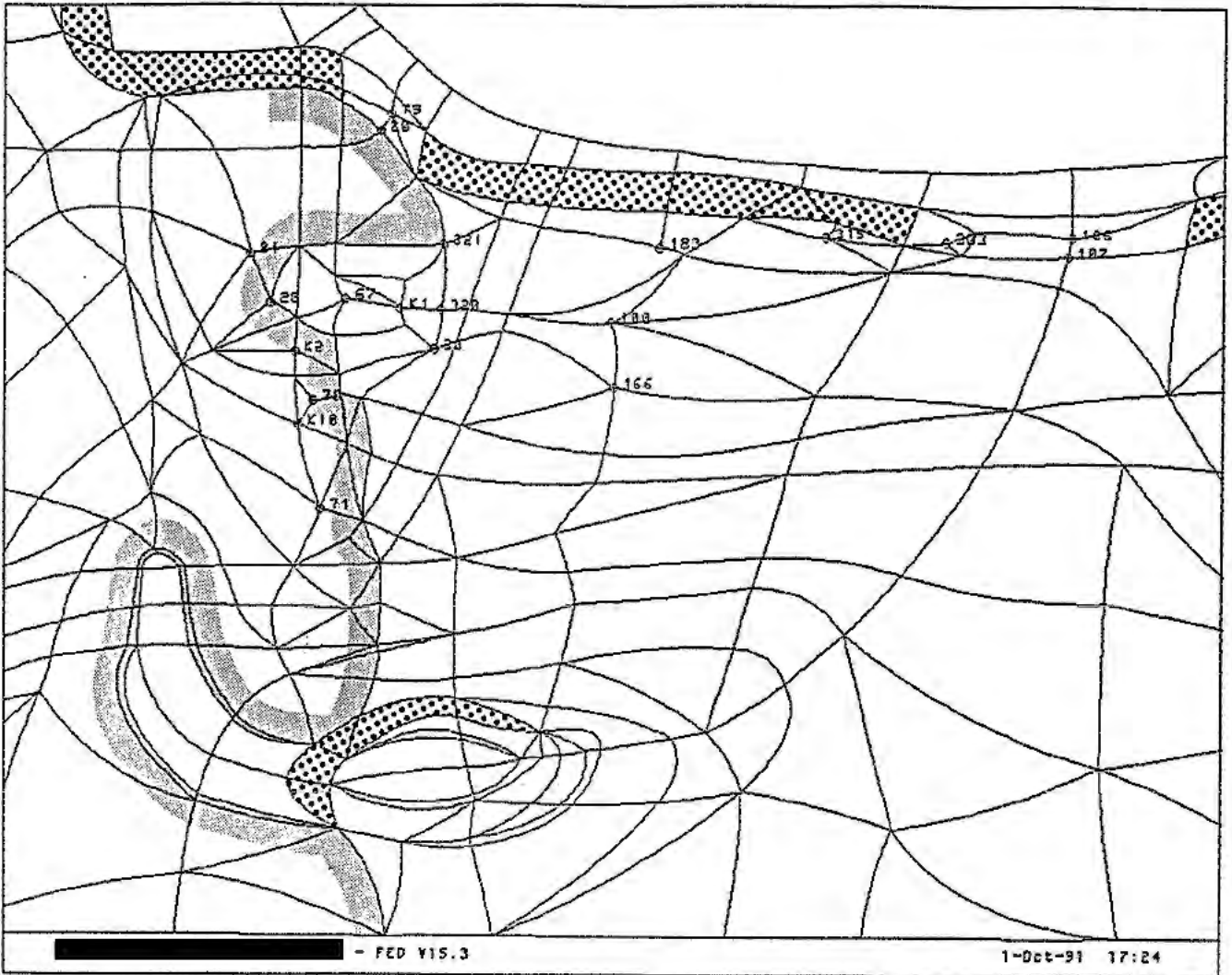


- modellierte Bohrung
- △ wirkliche Lage der Bohrung
- ▨ nördliche Verbreitungsgrenze des Hilssandstein

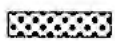
- ▨ Konrad-Graben
 $k_f(kru) = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$
- ▨ Störungszone entlang Salzstockrand
 $k_f(kru) = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$
- ▨ Vergitterungszone von Konrad-Graben und Störungszone entlang Salzstockrand, $k_f(kru) = 6 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$

Abb. 1-4 Rechenfälle R34 und R35. Zonen erhöhter Durchlässigkeit der Unterkreide in Störungszone

r47g.xyz g.el bohr.topo 90/90



o modellierte Bohrung

 Störungszone entlang Salzstockrand
 $k_i(kru) = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$


 nördliche Verbreitungsgrenze
des Hilssandsteins

Abb. 1-5 Rechenfälle R47 und R49. Zonen erhöhter Durchlässigkeit der Unterkreide in Störungszonen

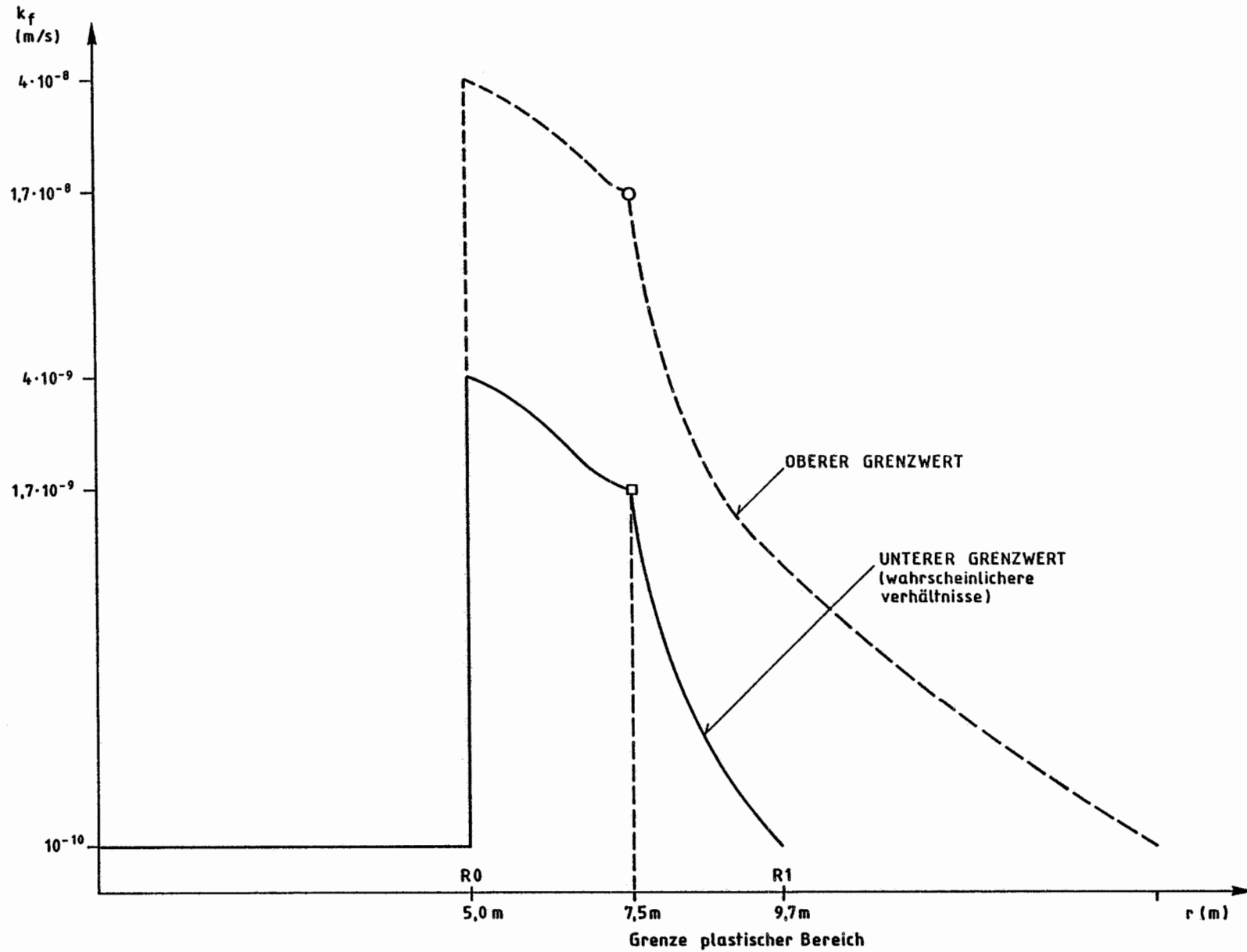


Abb. 2-1 Skizze der radialen Abhängigkeit des k_f -Wertes in der Auflockerungszone am Beispiel des Alb/Apt nach WITTKE (1991b)

r479.xyz cut398.el r49.res 90/0

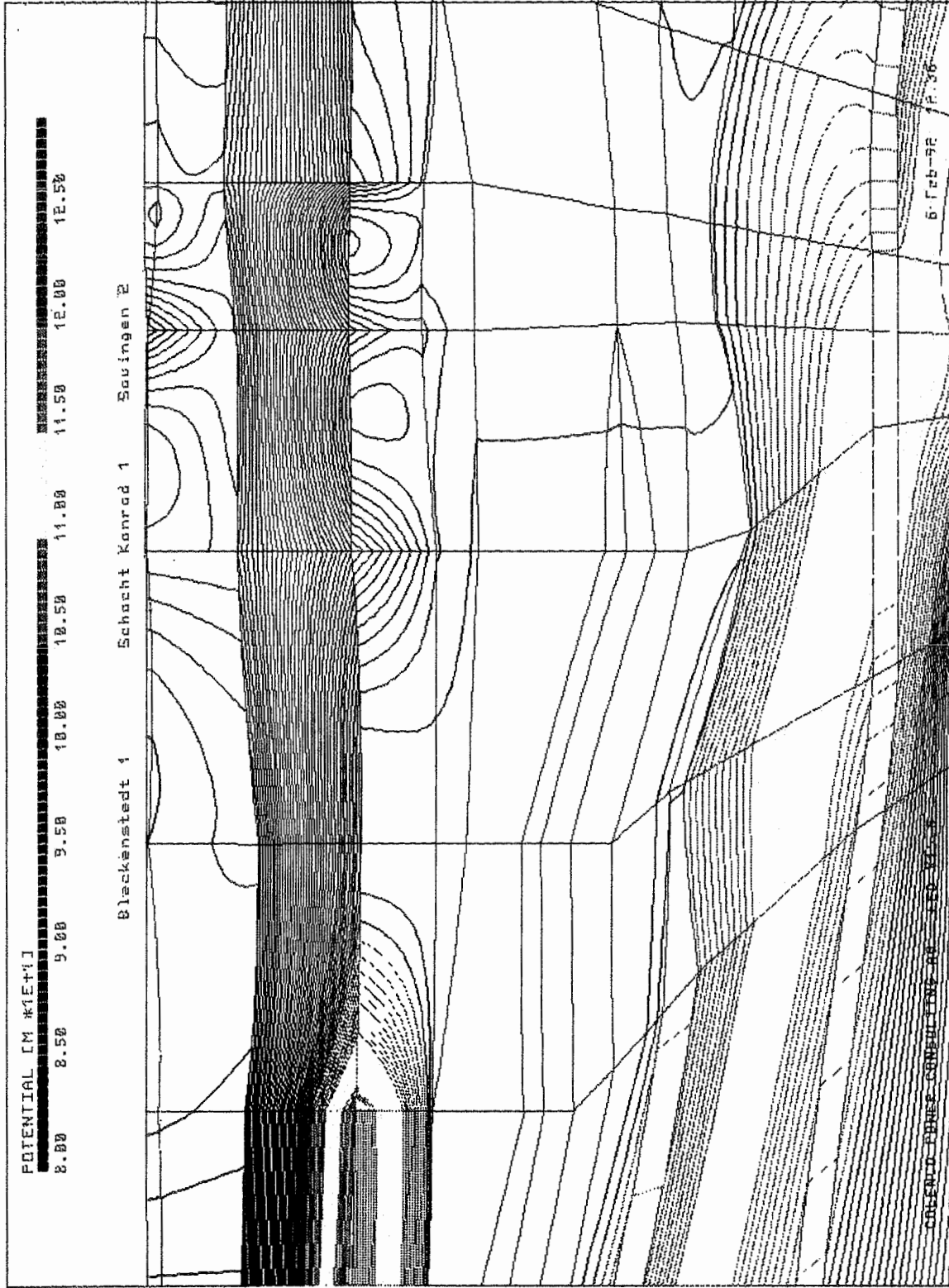


Abb. 3-1 Rechenfall R49. Potentialverteilung im Schnitt 398 mit Schacht Konrad 1 und Bohrungen Bleckenstedt 1 und Saungen 2 (Abstand der Isolinien 0,5 m)

r47g.xyz cut398.e1 r47-r49.dif 90/0

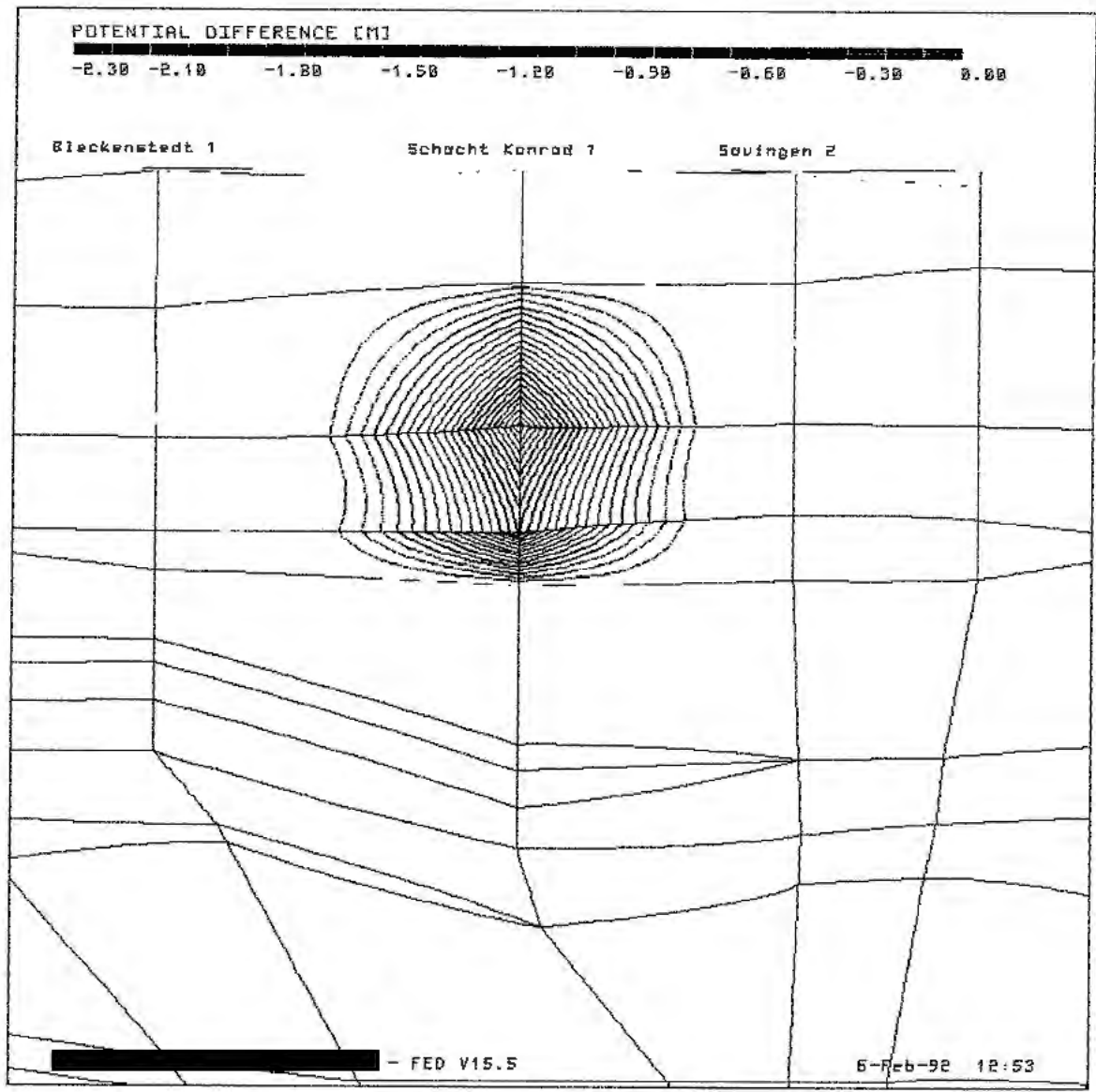


Abb. 3-2 Rechenfall R49. Potentialunterschiede R47-R49 im Schnitt 398 mit Schacht Konrad 1 und Bohrungen Bleckenstedt 1 und Saugingen 2 (Abstand der Iso-
linien 0,1 m)

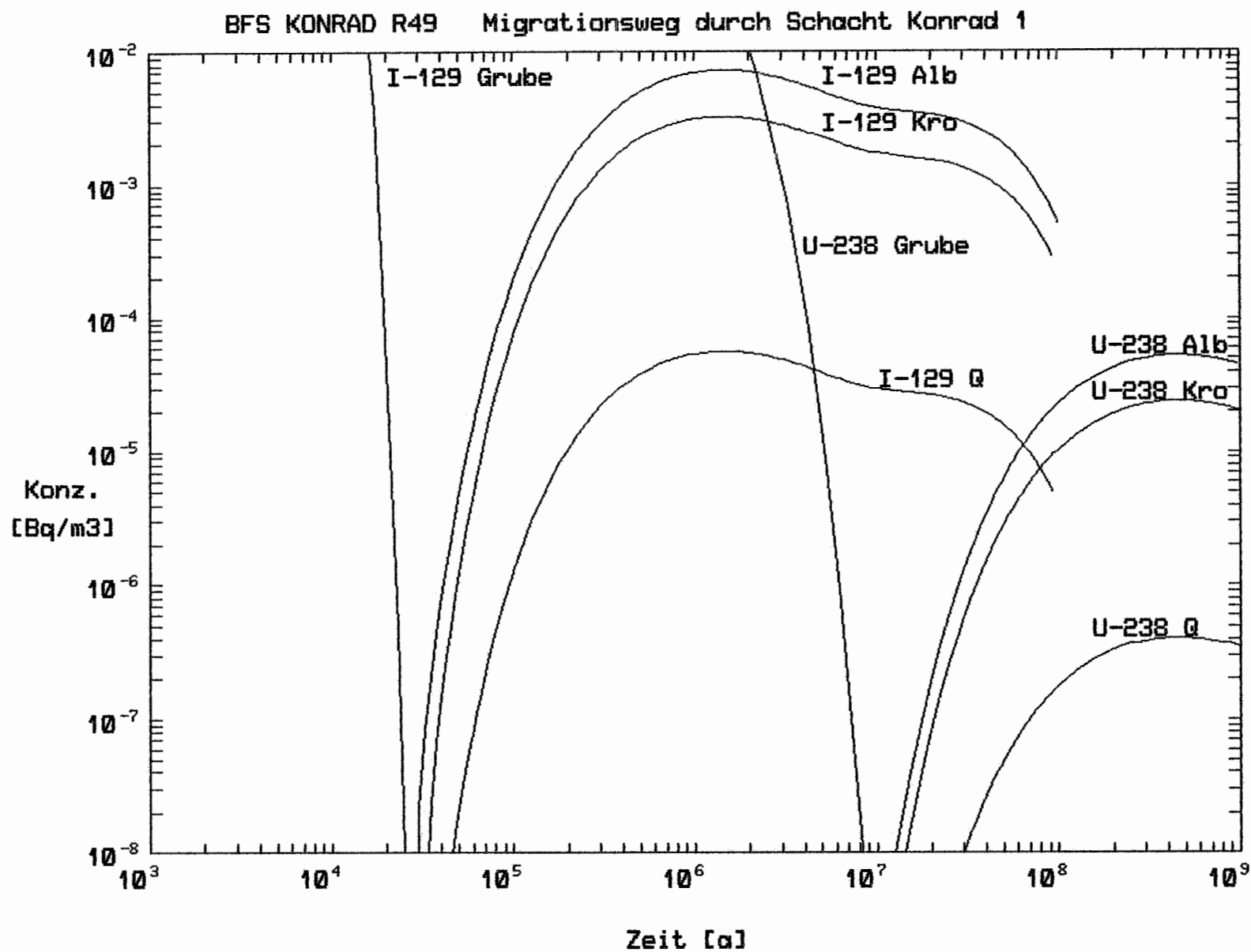


Abb. 6-1 Rechenfall R49. Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von I-129 und U-238 an den Hauptpunkten des Ausbreitungsweges durch den Schacht Konrad 1